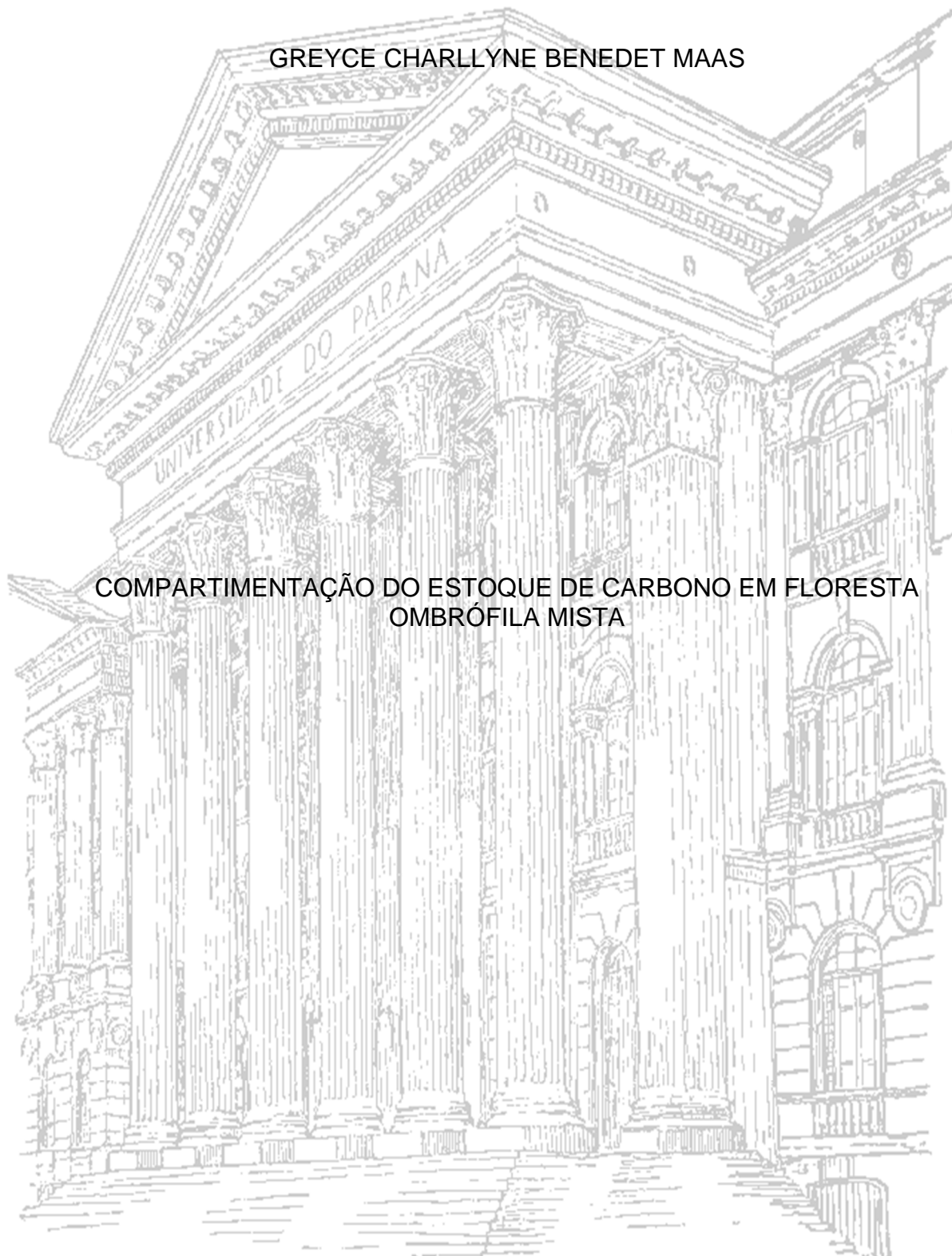


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GREYCE CHARLLYNE BENEDET MAAS

COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA

CURITIBA
2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GREYCE CHARLLYNE BENEDET MAAS

COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientadores: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado; Prof. Dr. Renato Marques

CURITIBA
2015

M419 Maas, Greyce Charllyne Benedet
Compartimentação do estoque de carbono em floresta ombrófila
mista / Greyce Charllyne Benedet Maas. - Curitiba, 2015.
172 f.: il., tabs, grafs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Co-orientadores: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado
Prof. Dr. Renato Marques

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal.

1. Florestas. 2. Biomassa. 3. Serapilheira. 4. Carbono. I. Sanquetta,
Carlos Roberto. II. Machado, Sebastião do Amaral. III. Marques, Renato.
IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.

CDD 634



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

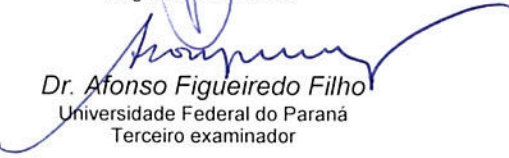
PARECER


Defesa n.º 1098


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Greyce Charillyne Benedet Maas* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do (a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.


Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Primeiro examinador


Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Universidade Estadual do Centro Oeste
Segundo examinador


Dr. Afonso Figueiredo Filho
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora




Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Curitiba, 20 de março de 2015.

À minha avó e minha tia, que me incentivaram e acreditaram em minha capacidade
desde cedo,
Ao meu esposo, que me tranquilizou e me repreendeu quando foi necessário,
À minha irmã que mesmo de longe me deu apoio afetivo,
À minha mãe, meu irmão e meus sobrinhos Lara e Caio, que tanto amo.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese de doutorado contou com o apoio de diversas pessoas e entidades, sem as quais não teria se concretizado.

Agradeço ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) pelo aporte financeiro e logístico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), que por meio do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) me concedeu a bolsa de doutorado.

À coordenação do Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa (Biofix), pelo suporte técnico e por dispor de estagiários para auxiliar nas atividades de campo e de laboratório, sempre que possível.

Agradeço imensamente ao meu orientador, professor Dr. Carlos Roberto Sanquetta pela confiança, paciência, e pela inestimável contribuição ao traçar os rumos desta pesquisa.

O meu reconhecimento e profundo agradecimento ao professor Dr. Sebastião do Amaral Machado, pelo estímulo que me impulsionou na escrita da tese, por suas preciosas contribuições e por estar sempre solícito e atencioso.

Ao professor Dr. Renato Marques, pela gentileza e paciência ao me receber e transmitir seus ensinamentos e por suas valiosas sugestões.

Meu profundo agradecimento aos colegas de Pós-Graduação Francelo Mognon, Aurélio Lourenço Rodrigues, Alexandre Behling, Tauane Garcia Barreto que estiveram comigo nas atividades de campo e em laboratório, sempre dispostos a me ajudar, apesar de estarem atarefados com suas próprias pesquisas, e também aos demais colegas que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste estudo.

Aos professores do programa de Pós-Graduação pelos ensinamentos transmitidos.

À técnica de laboratório Veruza Mendonça, pelo auxílio nos trabalhos de laboratório e pela atenção dedicada.

A todos os estagiários do Biofix que participaram em alguma fase deste trabalho, em campo e/ou em laboratório, e em especial a Isabel Mariane de Oliveira e Thiago Garcia de Almeida.

Ao professor Christopher Thomas Blum, pelo valoroso auxílio na difícil tarefa de identificar espécies pelas folhas decompostas da serapilheira.

Ao professor Alan Sulato de Andrade e a técnica Eliane Silva do Laboratório de Polpa e Papel, pela colaboração.

Aos professores, técnicos e pós-graduandos dos Laboratórios de Física e de Fertilidade de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

Ao senhor Deonísio Kieras pela atenção e ajuda na estação experimental.

Reitero meus sinceros agradecimentos a todos que dedicaram seu tempo e atenção a este trabalho e foram fundamentais em minha trajetória de pesquisa.

RESUMO

As florestas desempenham um papel importante no ciclo global de carbono, com efeitos sobre as mudanças climáticas. O conhecimento sobre a compartimentação do estoque de carbono em Mata Atlântica, e mais especificamente em Florestas Montanas é incipiente no Brasil. Este estudo objetiva avaliar o estoque de carbono em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, contemplando os compartimentos: biomassa arbórea acima do solo, biomassa de raízes, necromassa (lenhosa e não lenhosa) e solo. Também foi objetivo deste estudo avaliar o retorno de carbono ao piso florestal via serapilheira produzida e estimar sua taxa de decomposição. O trabalho foi realizado em três parcelas permanentes localizadas na Estação Experimental pertencente à Universidade Federal do Paraná no município de São João do Triunfo/PR. A estimativa da biomassa arbórea acima do solo e biomassa de raízes foi realizada por meio de equações alométricas, com base nos dados do inventário florestal de 2013 (diâmetro à altura do peito e altura total). Para a determinação do estoque de carbono no solo foram coletadas amostras deformadas e indeformadas até 0,40 m de profundidade. Para a coleta da serapilheira acumulada e da necromassa lenhosa fina (2 a 10 cm de diâmetro) utilizaram-se moldes de 0,50 x 0,50 m e 1,00 x 1,00 m, respectivamente, e realizou-se a separação da serapilheira acumulada em frações. Para a estimativa da produção de serapilheira foram utilizados 27 coletores, distribuídos nas três parcelas de estudo. Em 2012 as coletas foram realizadas ao final de cada estação do ano, e em 2013 foram realizadas mensalmente. As amostras de serapilheira foram separadas em frações, e a fração folhas foi separada por espécie, sempre que possível. De posse dos dados de produção e acúmulo de serapilheira do ano de 2013 estimou-se a taxa de decomposição. Para a estimativa do estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa (acima de 10 cm de diâmetro), foi utilizado o método da linha interceptadora. Amostras das peças foram retiradas para análise do teor de carbono e da densidade básica da madeira. O fragmento de Floresta Ombrófila Mista estoca 256 Mg.C.ha⁻¹, com o maior estoque no solo (50%), seguido da biomassa (46%) e da necromassa (4%). A média da produção de serapilheira foi de 6,21 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, com retorno de carbono ao piso florestal de 3,26 Mg.C.ha⁻¹.ano⁻¹. A serapilheira apresentou baixa taxa de decomposição ($k = 0,89$) em comparação às florestas com predomínio de folhosas. A espécie araucária representou a maior fração do estoque de carbono na biomassa, e também foi a fração mais expressiva no retorno de carbono ao piso florestal via serapilheira. A estacionalidade na deposição da serapilheira em 2013 foi definida primordialmente pela deposição dos ramos aciculados dessa espécie. Esses resultados denotam a relevância da araucária no estoque e dinâmica de carbono no fragmento estudado. Os resultados deste estudo poderão auxiliar na melhoria das estimativas regionais do estoque de carbono e minimizar a incerteza nos inventários de emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso da terra e suas mudanças antrópicas.

Palavras-chave: Floresta com Araucária. Biomassa. Necromassa. Serapilheira. Carbono no solo.

ABSTRACT

Forests play an important role in the global carbon cycle, with consequences for climate change. The knowledge on the partitioning of the carbon stock in the Atlantic Forest, and more specifically in Montane Forests is still scarce. This study aims to evaluate the carbon stock in a Montane Araucaria Forest fragment, comprising the components: tree above and below ground biomass, necromass (woody necromass and litter) and soil. It was also aim of this study to evaluate the litterfall carbon return to the forest floor and estimate its decomposition rate. The study was conducted in three permanent plots located in an experimental station belonging to the Paraná Federal University in São João de Triunfo/PR, Brazil. The above and below ground biomass estimation was performed using individual allometric equations based on the 2013 forest inventory data (diameter at breast height and total height). For the determination of the soil carbon stock, deformed and undeformed samples were collected up to 0.40 m depth. For the collection of accumulated litter and fine woody necromass (2-10 cm diameter) we used square frames of 0.50 x 0.50 m and 1.00 x 1.00 m, respectively, and separated material in fractions. The litterfall was estimated using 27 litter traps, distributed on the three study plots. Samples were collected at the end of seasons in 2012, and monthly in 2013. The litterfall samples were separated into fractions and leaves were separated by species, whenever possible. The litter decomposition rate was estimated through litterfall and litter stock data. To estimate the carbon stock of woody necromass (over 10 cm diameter), we used the line intercept method. Pieces samples were taken for carbon content and wood specific gravity analysis. The Araucaria Forest fragment stocks 256 Mg.C.ha⁻¹, with the largest stock concentrated in soil (50%), followed by biomass (46%) and necromass (4%). The mean litterfall production was 6.21 Mg.ha⁻¹.year⁻¹, corresponding to 3.26 Mg.C.ha⁻¹.year⁻¹ of carbon stock. The litter decomposition rate was low when compared to forests with a predominance of broadleaved species. Araucaria shares the largest part of the biomass carbon stock in the forest, and is the most representative species in litterfall carbon return to the forest floor as well. The litter deposition seasonality in 2013 was defined primarily by deposition of needle-shaped branches of Araucaria. These figures show the importance of this specie in carbon stock and dynamics in the studied site. The results of this study aim to improve regional stock estimates of carbon and minimize uncertainty of the greenhouse gas inventories related to land use and their anthropogenic changes.

Keywords: Araucaria Forest. Biomass. Necromass. Litter. Soil carbon.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PERFIL ESQUEMÁTICO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	22
FIGURA 2 - MAPA DA COBERTURA VEGETAL ORIGINAL DO ESTADO DO PARANÁ.....	23
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO – PR.....	43
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	46
FIGURA 5 - COMPARTIMENTOS DO ESTOQUE DE CARBONO CONSIDERADOS PARA O FRAGMENTO EM ESTUDO.....	49
FIGURA 6 - A: CAMADAS DE AMOSTRAGEM NO PERFIL DO SOLO; B: DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NA PARCELA	53
FIGURA 7 - A E B: COLETA DE AMOSTRA INDEFORMADA DE SOLO NO ANEL VOLUMÉTRICO; C: AMOSTRA COLETADA NO ANEL VOLUMÉTRICO; D: COLETA DE AMOSTRA DEFORMADA PARA ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	54
FIGURA 8 - A: COLETA DA SERAPILHEIRA; B: DETALHE DO USO DO FACÃO PARA CORTAR O MATERIAL QUE ATRAVESSA A BORDA DO GABARITO; C: PESAGEM DA SUBAMOSTRA.....	56
FIGURA 9 – A: COLETA DE NECROMASSA LENHOSA FINA, B: DETALHE DO USO DE PAQUÍMETRO PARA VERIFICAR O DIÂMETRO DAS PEÇAS; C: DETALHE DE AMOSTRA COLETADA; C: PESAGEM DA SUBAMOSTRA.....	59
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS LINHAS DE AMOSTRAGEM DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA NA PARCELA	61
FIGURA 11 - A: DISPOSIÇÃO DA LINHA INTERCEPTADORA; B: AMOSTRAGEM EM LINHA; C: DETALHE DA COLETA DE AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE; D: DETALHE DE AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE	62
FIGURA 12 - OBTENÇÃO DO VOLUME DOS CORPOS-DE-PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA	63
FIGURA 13 - A: COLETOR DE SERAPILHEIRA NO CAMPO; B: DETALHE DA COLETA DE SERAPILHEIRA; C: DETALHE DA COLETA; D: AMOSTRA DE SERAPILHEIRA SEPARADA EM FRAÇÕES NO LABORATÓRIO	65

FIGURA 14 - A: ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO (Mg.ha ⁻¹) POR CLASSE DIAMÉTRICA; E B: DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DIAMÉTRICA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	75
FIGURA 15 - MÉDIA ± ERRO ABSOLUTO DA DENSIDADE DO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS (g.cm ⁻³) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	80
FIGURA 16 - MÉDIA ± ERRO ABSOLUTO DOS TEORES DE CARBONO NO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	81
FIGURA 17 - ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS (kg.m ⁻³) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	84
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	91
FIGURA 19 - CONTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM ABRIL E SETEMBRO DE 2013 EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	94
FIGURA 20 - DETALHE DA FRAÇÃO PENEIRA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	96
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA NECROMASSA LENHOSA FINA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	100
FIGURA 22 - COMPOSIÇÃO DO VOLUME DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA POR CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR E DO INVENTÁRIO FLORESTAL DE SANTA CATARINA.....	107
FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	109
FIGURA 24 - MÉDIA E ERRO ABSOLUTO DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA POR ANO E ESTAÇÃO (Mg.ha ⁻¹) E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	113
FIGURA 25 - MÉDIA E ERRO ABSOLUTO DO RETORNO DE CARBONO VIA SERAPILHEIRA POR ANO E ESTAÇÃO (Mg.ha ⁻¹) E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS	

ANUAIS POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	114
FIGURA 26 - PRODUÇÃO ESTACIONAL DE GALHOS NOS DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	114
FIGURA 27 - VARIAÇÃO MENSAL DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DURANTE OS ANOS DE 2012 E 2013	116
FIGURA 28 - PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA TOTAL (Mg.ha ⁻¹) POR ESTAÇÃO PARA OS DOIS ANOS AVALIADOS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	117
FIGURA 29 - MÉDIA DE DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA TOTAL (Mg.ha ⁻¹) POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A OUTROS ESTUDOS	119
FIGURA 30 - CONTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA PRODUZIDA (MÉDIA DOS DOIS ANOS AVALIADOS) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	121
FIGURA 31 - PRODUÇÃO DAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA POR ESTAÇÃO DO ANO EM DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....	122
FIGURA 32 - CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS COMPARTIMENTOS NO ESTOQUE TOTAL DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR E NAS FLORESTAS BRASILEIRAS.....	133
FIGURA 33 - CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS COMPARTIMENTOS NO ESTOQUE TOTAL DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A VALORES MÉDIOS DA MATA ATLÂNTICA.....	134
FIGURA 34 - COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR PARA O ANO DE 2013.....	138

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTOQUES DE NECROMASSA E CARBONO NOS BIOMAS E PLANTAÇÕES FLORESTAIS DO BRASIL EM 1990 E 2010	41
TABELA 2 - ASPECTOS DENDROMÉTRICOS PARA UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR PARA O ANO DE 2013	47
TABELA 3 - GRANULOMETRIA EM DIFERENTES CAMADAS DO SOLO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	79
TABELA 4 - TEOR DE CARBONO NAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	86
TABELA 5 - COMPARAÇÃO DA MÉDIA DO ESTOQUE DE SERAPILHEIRA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR COM VALORES DA LITERATURA PARA FORMAÇÕES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA	89
TABELA 6 - DIFERENÇAS NA MASSA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA E ESTOQUE DE CARBONO ENTRE ABRIL E SETEMBRO DE 2013 EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	94
TABELA 7 - DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA E TEOR DE CARBONO (\pm ERRO ABSOLUTO – $p < 0,01$) DA NECROMASSA LENHOSA GROSSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	101
TABELA 8 - DENSIDADE BÁSICA DA NECROMASSA LENHOSA GROSSA (g.cm^{-3}) EM ESTUDOS REALIZADOS NA AMAZÔNIA E NA MATA ATLÂNTICA	102
TABELA 9 - DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE MAIOR VALOR DE IMPORTÂNCIA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	103
TABELA 10 – VOLUME, MASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR	105

TABELA 11 - TEOR DE CARBONO NAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA PRODUZIDA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....112

TABELA 12 - PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA (Mg.ha^{-1}) POR ESTAÇÃO DO ANO EM DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A OUTROS ESTUDOS.....120

TABELA 13 - DEZ ESPÉCIES DE MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA SERAPILHEIRA FOLIAR PRODUZIDA NO ANO DE 2013 (kg.ha^{-1}) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR126

TABELA 14 - ESPÉCIES DE MAIOR VALOR DE IMPORTÂNCIA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM 2011126

TABELA 15 - COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO (k), TEMPO MÉDIO DE RENOVAÇÃO DA SERAPILHEIRA ($1/k$), TEMPO PARA A DECOMPOSIÇÃO DE 50% ($t_{0,5}$) E TEMPO PARA A DECOMPOSIÇÃO DE 95% DA SERAPILHEIRA ($t_{0,95}$) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....128

TABELA 16 - ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA, NECROMASSA, SOLO E NA SERAPILHEIRA PRODUZIDA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR.....130

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AIC – *Akaike Information Criterion* (Critério de Informação de Akaike)
ANOVA - *Analysis of variance* (Análise de variância)
Biofix - Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa
C - Casca
cap - Circunferência à altura do peito
 C_{BA} - Estoque de carbono da biomassa acima do solo
 C_{BR} - Estoque de carbono da biomassa de raízes
 C_{BT} - Estoques de carbono total da biomassa (biomassa acima do solo + biomassa de raízes)
 CH_4 - Metano
 C_{NLF} - Estoque de carbono da necromassa lenhosa fina
 C_{NLG} - Estoque de carbono da necromassa lenhosa grossa
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
 C_{NT} - Estoque de carbono total da necromassa (necromassa lenhosa fina + necromassa lenhosa grossa)
 CO_2 - Dióxido de carbono
 C_{SA} - Estoque de carbono da serapilheira acumulada
 C_{ST} - Estoque de carbono total do solo (todas as camadas até 0,40 m)
 C_T - Estoque total de carbono (total do solo + total da biomassa + total da necromassa)
CV - Coeficiente de variação
dap - Diâmetro à altura do peito
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
F - Folhas
FAO - *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
FD - Folhas em decomposição
FED - Floresta Estacional Decidua
FIA - *Forest Inventory and Analysis* (Inventário Florestal e Análise)
FOD - Floresta Ombrófila Densa
FOM - Floresta Ombrófila Mista
FR - Folhas recém depositadas
FRA - *Forest Resources Assessment* (Avaliação dos Recursos Florestais)
FUNCATE - Fundação de Ciências, Aplicações e Tecnologia Espaciais
G - Galhos/ramos
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
M - Miscelânea
MR - Material reprodutivo
 N_2O - Óxido nitroso
OR - Órgãos reprodutivos
PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PE - Peneira (material fragmentado que passava em peneira com malha de 10 mm)
PELD - Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração
PELD ELFA - Estudos Ecológicos de Longa Duração na Floresta com Araucária e suas Transições

R²_{aj} – Coeficiente de determinação ajustado
RA - Ramos aciculados de araucária
RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural
SFB - Serviço Florestal Brasileiro
SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná
SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais
S_{xy} - Erro padrão da estimativa
S_{xy}% - Erro padrão da estimativa em percentagem
UFPR - Universidade Federal do Paraná
UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas)
USDA - *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)
UTM - *Universal Transversa de Mercator*
VCS - *Verified Carbon Standard* (Padrão Verificado de Carbono)
VI - Valor de importância

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O PAPEL DAS FLORESTAS.....	19
3.2 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	21
3.3 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS.....	24
3.3.1 Biomassa florestal.....	24
3.3.2 Necromassa florestal	26
3.3.3 Solo.....	36
3.4 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA NOS BIOMAS BRASILEIROS.....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
4.1.1 Localização	43
4.1.2 Clima.....	44
4.1.3 Vegetação.....	44
4.1.4 Parcelas	45
4.1.5 Solo.....	47
4.2 COMPARTIMENTOS DO ESTOQUE DE CARBONO E TERMINOLOGIA ADOTADA.....	48
4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	49
4.3.1 Estoque de carbono na biomassa acima do solo e na biomassa de raízes.....	49
4.3.2 Estoque de carbono do solo	52
4.3.3 Estoque de carbono na serapilheira acumulada	55
4.3.4 Estoque de carbono na necromassa lenhosa fina	58
4.3.5 Estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa	60
4.3.6 Produção de serapilheira	64
4.3.7 Decomposição da serapilheira.....	66
4.3.8 Determinação do teor de carbono.....	67
4.4 ANÁLISE DOS DADOS	68

4.4.1 Solo.....	68
4.4.2 Serapilheira acumulada	69
4.4.3 Necromassa lenhosa	70
4.4.4 Produção de serapilheira	71
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1 ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO E NA BIOMASSA DE RAÍZES	73
5.2 DENSIDADE E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	78
5.3 ESTOQUE DE CARBONO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA	85
5.3.1 Teor de carbono.....	85
5.3.2 Serapilheira acumulada e estoque de carbono.....	87
5.3.3 Distribuição espacial	90
5.3.4 Variação temporal do estoque de carbono na serapilheira acumulada	93
5.3.5 Contribuição das frações no estoque de carbono da serapilheira acumulada..	95
5.4 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA LENHOSA FINA.....	96
5.4.1 Acúmulo de necromassa lenhosa fina e estoque de carbono.....	96
5.4.2 Distribuição espacial	99
5.5 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA LENHOSA GROSSA.....	101
5.6 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E RETORNO DE CARBONO PARA O PISO FLORESTAL	112
5.7 DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA	128
5.8 COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO	130
6. CONCLUSÕES.....	139
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
8. RECOMENDAÇÕES	142
9. REFERÊNCIAS	144
APÊNDICE.....	171

1. INTRODUÇÃO

As propriedades radiativas da atmosfera são fortemente influenciadas pela quantidade presente de uma mistura de gases chamados gases de efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que tem aumentado substancialmente desde o início da era industrial, em decorrência, sobretudo de emissões antrópicas, sendo esse aumento uma das principais causas das mudanças climáticas (CIAIS *et al.*, 2013). As concentrações na atmosfera, dos gases de efeito estufa em 2011 excederam as concentrações registradas em amostras de gelo durante os últimos 800.000 anos (STOCKER *et al.*, 2013).

Diante desse cenário alarmante, as florestas exercem um importante papel na mitigação das mudanças climáticas (SANQUETTA *et al.*, 2013), atuando como reservatórios, absorvendo o carbono da atmosfera e o estocando na biomassa e também nos solos (FAO, 2013), uma vez que quantidades significativas de carbono orgânico podem retornar ao solo por meio da decomposição de componentes senescentes da parte aérea das plantas que são depositados no piso florestal (CALDEIRA *et al.*, 2008).

Os países que fazem parte da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (da sigla em inglês UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*) concordaram em submeter à Conferência das Partes (COP) relatórios nacionais para informar sobre as atividades relacionadas à mitigação das mudanças climáticas. Os países em desenvolvimento devem apresentar comunicações nacionais a cada 4 anos, que incluem o Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, além de relatórios bianuais contendo atualizações desse Inventário (UNFCCC, [201-]). As estimativas de emissão e remoção dos gases de efeito estufa são divididas nos setores: Energia; Resíduos; Processos Industriais; Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra; e Outros (IPCC, 2006). O Brasil apresentou duas comunicações nacionais e de acordo com a Segunda Comunicação Nacional, em 2005, 76% das emissões de CO_2 eram oriundas do setor de Mudanças no Uso da Terra e Florestas (BRASIL, 2010).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (da sigla em inglês IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa considera como os reservatórios de carbono

em florestas a biomassa (biomassa acima do solo e de raízes), a necromassa (incluindo madeira morta e serapilheira) e o solo (material orgânico do solo) (IPCC, 2006). As florestas do mundo cobrem 31% da superfície total do Globo Terrestre e estocam mais de 650 bilhões de toneladas de carbono, sendo 44% na biomassa, 11% na madeira morta e serapilheira, e 45% no solo (FAO, 2010).

Entretanto, também é importante considerar que as florestas podem atuar não somente como sumidouros de carbono, pois de acordo com os resultados de alguns estudos, as mudanças do clima podem alterar essa condição. O trabalho desenvolvido por Woodall e Liknes (2008) reforça à hipótese proposta por outras pesquisas de que há um tênue balanço entre alguns reservatórios de carbono (como necromassa florestal e solo), que determina se esses irão se comportar como sumidouros ou fontes de CO₂, dependendo parcialmente do clima e dos mecanismos de retroalimentação. Um estudo desenvolvido em um gradiente altitudinal na Mata Atlântica envolvendo a emissão de gases de efeito estufa do solo para a atmosfera, demonstrou que a emissão de dióxido de carbono foi fortemente influenciada pela temperatura do solo, aumentando a emissão com o aumento da temperatura (SOUSA NETO *et al.*, 2011).

Sendo assim, existe atualmente uma grande necessidade de expandir o conhecimento científico sobre o comportamento dos grandes ciclos naturais do planeta envolvendo o carbono (NOBRE; NOBRE, 2002). Existe uma considerável incerteza sobre a magnitude e a distribuição regional dos reservatórios de carbono em florestas, e maior incerteza sobre a dinâmica futura desses reservatórios (STINSON *et al.*, 2011).

Além disso, são escassos os trabalhos científicos que estimam o estoque de carbono nos cinco reservatórios estabelecidos pelo IPCC (Ex. VIEIRA *et al.*, 2011; ARYAL *et al.*, 2014), pois cada reservatório requer diferentes métodos de amostragem, o que pode elevar os custos (SMITH, 2000).

A necromassa lenhosa grossa (madeira morta acima de 10 cm de diâmetro), por exemplo, é um componente frequentemente ignorado em muitos estudos do balanço de carbono florestal (BROWN, 2002), além do que, pouca informação existe a respeito do acúmulo de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista (BRITEZ *et al.*, 2006).

A distribuição dos estoques de carbono em termos absolutos e relativos varia com o tipo de floresta, a disponibilidade de nutrientes no solo, clima, topografia e

regime de perturbação, e uma estimativa precisa dos estoques é de grande relevância para a compreensão do ciclo de carbono em escala regional e global (TANG *et al.*, 2012).

Estimativas apenas da biomassa acima do solo subestimam os estoques totais de carbono nos ecossistemas florestais, sendo essencial uma estimativa da magnitude dos estoques de carbono em diferentes componentes dos ecossistemas florestais (SIERRA *et al.*, 2007). As estimativas de estoques de carbono são de alta relevância para a formulação e avaliação das iniciativas globais para reduzir o aquecimento global, bem como a gestão dos ecossistemas para fins de sequestro de carbono (SIERRA *et al.*, 2007).

Segundo Caldeira (2003), a inexistência ou a raridade de trabalhos sobre a dinâmica de nutrientes em florestas naturais deve-se à dificuldade na coleta de dados, devido à complexidade ambiental dessas formações, custos elevados para a realização de estudos, grande número de pessoas necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos e falta de metodologia adequada.

Segundo a contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, faltam observações de curto e longo prazo dos processos que regulam os estoques e os fluxos que condicionam o funcionamento dos ecossistemas brasileiros (PBMC, 2013). De acordo com essa publicação, há uma carência crítica de informações para determinados biomas, sendo que um volume maior de informações se encontra na Amazônia e, secundariamente, no Cerrado e somente recentemente estudos têm sido desenvolvidos na Mata Atlântica, mas ainda concentrados em algumas poucas áreas (PBMC, 2013).

O pouco conhecimento sobre o funcionamento da Mata Atlântica nesse sentido traz como consequência uma limitada capacidade para prever possíveis impactos das mudanças climáticas sobre esse bioma (VILLELA *et al.*, 2012). Além do que, o estoque e a dinâmica de carbono vêm sendo investigados com maior frequência em Florestas de Terras Baixas, mas raramente estudos são desenvolvidos em Florestas Tropicais Montanas (GIRARDIN *et al.*, 2010). Estudos desenvolvidos em gradiente altitudinal na Mata Atlântica vem demonstrando grande variação nos estoques de biomassa e carbono em diferentes compartimentos com a elevação (ALVES *et al.*, 2010; SOUSA NETO *et al.*, 2011; VIEIRA *et al.*, 2011), o

que sugere a necessidade de considerar as diferenças regionais para avaliar o papel desse bioma no ciclo global de carbono (ALVES *et al.*, 2010).

Com relação à fitofisionomia em análise, ainda é insipiente o nível de conhecimento sobre o potencial de fixação pelas florestas naturais ou plantadas com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (SANQUETTA, 2002). Segundo Caldeira (2003) é fundamental e de grande interesse se conhecer mais profundamente os diversos aspectos bioecológicos presentes na Floresta Ombrófila Mista, devido à importância ecológica, econômica e cultural que a espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze teve no passado e ainda tem nos dias de hoje.

O Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) conta com uma rede de sítios para a pesquisa científica no tema de ecologia de ecossistemas, sendo um deles o Sítio 9 – ELFA (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração na Floresta com Araucária e suas Transições) (SANQUETTA; CORTE; RODRIGUES, 2014a). No Sítio 9 atualmente está sendo desenvolvido o projeto intitulado “Estrutura e funcionamento dos ecossistemas, impacto das alterações antrópicas e mudanças climáticas globais na floresta com araucária e suas transições” (PELD SÍTIO 9, 2011). Dentre os objetivos do projeto inclui-se a quantificação de carbono em Floresta Ombrófila Mista, como um apoio a melhoria nas estimativas regionais e nacionais reportadas no inventário nacional de gases de efeito estufa.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar o estoque de carbono na biomassa, na necromassa e no solo em Floresta Ombrófila Mista Montana, bem como o retorno de carbono ao piso florestal via serapilheira produzida.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o estoque de biomassa e carbono na biomassa arbórea acima do solo e na biomassa de raízes;
- Quantificar o estoque de carbono do solo em diferentes camadas até 0,40 m de profundidade;
- Quantificar o estoque de necromassa e carbono do material lenhoso e não lenhoso;
- Quantificar o retorno de carbono ao piso florestal via serapilheira produzida e avaliar a correlação da produção de serapilheira com variáveis meteorológicas;
- Quantificar a deposição de serapilheira foliar por espécie;
- Estimar a taxa de decomposição da serapilheira.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O PAPEL DAS FLORESTAS

O aumento na concentração dos chamados gases de efeito estufa na atmosfera é apontado como a principal causa das mudanças climáticas, e esse aumento é originado por emissões antropogênicas, como uso de combustíveis fósseis como fonte de energia, pelo uso do solo e mudanças no uso do solo, entre outros (CIAIS *et al.*, 2013).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas define mudança climática como uma mudança no clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis (UNITED NATIONS, 1992). Esse fenômeno até recentemente era apenas uma hipótese científica e poucos acreditavam que se tornaria um dos principais desafios para o poder público, a comunidade científica e para a sociedade, sendo hoje reconhecido como uma ameaça significativa para a existência humana (SANQUETTA; DALLA CORTE; MAAS, 2013).

Nas últimas duas décadas, o Grupo de Trabalho II do IPCC vem desenvolvendo avaliações sobre os impactos das mudanças climáticas. O número de publicações disponíveis sobre os impactos, adaptação e vulnerabilidade as mudanças climáticas mais que dobrou entre 2005 e 2010 (FIELD *et al.*, 2014). O quinto relatório do IPCC reconhece que os riscos das mudanças climáticas irão variar entre regiões e populações, no espaço e no tempo, dependendo de inúmeros fatores, mas alguns impactos já podem ser observados, como as mudanças nas atividades sazonais e na abundância de diversas espécies vegetais e animais (IPCC, 2014).

Diante disso, as florestas são fundamentais para mitigar os efeitos da mudança climática global, pois elas constituem grandes depósitos de carbono (PENNE *et al.*, 2010) e têm a capacidade de absorver continuamente dióxido de carbono da atmosfera (GOERS *et al.*, 2012).

Os biomas florestais constituem as principais reservas de carbono terrestres, e os principais componentes da produtividade primária global (MALHI; BALDOCCI; JARVIS, 1999). As plantas fixam o CO₂ da atmosfera durante a fotossíntese (GAYOSO; GUERRA, 2005) para produzir matéria orgânica, que é estocada nas partes da planta acima e abaixo do solo (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008). As plantas então controlam a entrada de carbono no sistema do solo, acima e abaixo do solo oriunda da serapilheira, necromassa lenhosa, “*turnover*” das raízes finas e exsudados das raízes (PRICE; BRADFORD; ASHTON, 2012) e o carbono pode ser liberado de volta para a atmosfera pela respiração autotrófica e heterotrófica e por distúrbios, como incêndios esporádicos (CIAIS *et al.*, 2013). Assim, o CO₂ removido da atmosfera é armazenado como biomassa viva e morta, ou como carbono do solo (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008).

Dessa forma, as florestas vêm sendo estudadas devido ao seu potencial como reservatório de carbono (LADEGAARD-PEDERSEN; ELBERLING; VESTERDAL, 2005), sendo que, em geral, apresentam um elevado estoque de carbono no solo, como resultado do aporte de matéria orgânica morta da vegetação (TAKAHASHI *et al.*, 2010). Contudo, as florestas podem agir não somente como sumidouro de carbono, mas também como fonte. Cada vez que uma árvore morre, por doença, idade, competição com outras espécies, ou é derrubada por uma tempestade o processo de decomposição inicia e ocorre a emissão de carbono em forma de CO₂ para a atmosfera, assim como o solo que também pode ser considerado como fonte, e não apenas como sumidouro (SANQUETTA; DALLA CORTE; MAAS, 2013).

O balanço de carbono de uma floresta é tênue e decorre dos processos de absorção e liberação, os quais ocorrem em distintas escalas temporais e são influenciados por uma série de variáveis climáticas e ambientais, como temperatura, umidade e frequência de distúrbios (MALHI; BALDOCCI; JARVIS, 1999). Alguns estudos indicam que o aumento de temperatura pode transformar as florestas de reservatórios para fontes de carbono e nitrogênio para a atmosfera, devido ao aumento nas taxas de decomposição (WOODALL; LIKNES, 2008).

Por esses motivos é extremamente importante monitorar os estoques e fontes de carbono nas florestas e compreender os processos que afetam o seu equilíbrio a fim de verificar a direção e a magnitude das reações dos ecossistemas florestais frente às alterações globais, podendo esse conhecimento também ser incorporado

ao planejamento do manejo florestal para ajudar nos esforços de mitigação da mudança climática (STINSON *et al.*, 2011).

3.2 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com araucária é reconhecida como um conjunto vegetacional com fisionomia característica, circunscrita a uma região de clima pluvial subtropical, ocorrendo abaixo do trópico de Capricórnio, limitada entre as latitudes 19° 15' S e 31° 30' S e entre as longitudes 41°30' W e 54° 30' W, sendo que a origem do termo Floresta Ombrófila Mista, em parte, vem da mistura de duas floras distintas: a tropical afro-brasileira e a temperada austro-brasileira, cada qual com elementos característicos (GUERRA *et al.*, 2003).

A araucária é a espécie mais destacada, constituindo a única a formar um ecossistema próprio, em cuja biota florestal apresenta dominância, sendo que essa espécie necessita de distúrbios para que se mantenha em processo de regeneração (SANQUETTA, 2008), e que por sua abundância, porte e copas corimbiformes imprime o aspecto fitofisionômico próprio dessa formação (SONEGO; BACKES; SOUSA, 2007).

São identificadas quatro formações da Floresta Ombrófila Mista: Aluvial, em terraços antigos associados à rede hidrográfica; Submontana, constituindo disjunções em altitudes inferiores a 400 m; Montana, situada aproximadamente entre 400 e 1000 m de altitude; e Alto-Montana, compreendendo as altitudes superiores a 1000 m (IBGE, 2012) (Figura 1).

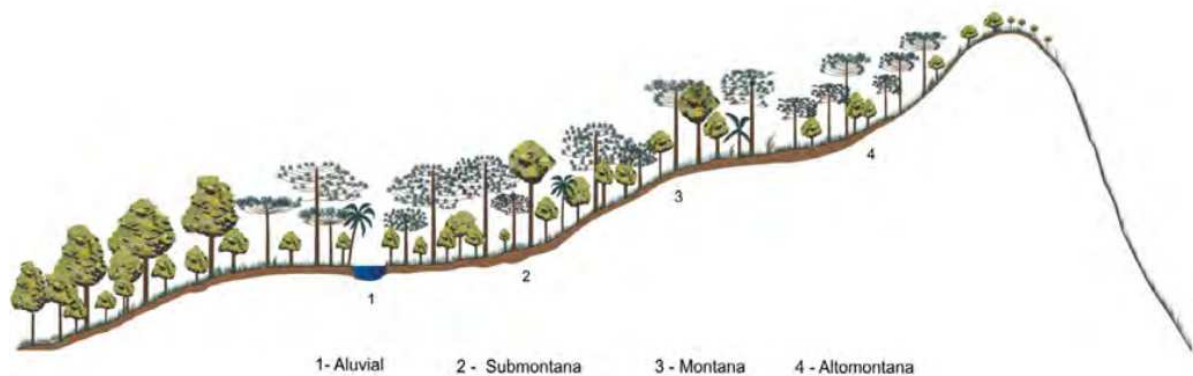


FIGURA 1 – PERFIL ESQUEMÁTICO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

FONTE: Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), citados por IBGE (2012)

Com relação à Floresta Ombrófila Mista Montana, ocupava quase inteiramente o planalto acima de 500 m de altitude, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, mas na década de 1950, nas grandes extensões de terrenos situados entre as cidades de Lages (SC) e Rio Negro (PR), podia-se observar a araucária ocupando e emergindo da submata de *Ocotea pulchella* (Ness e Mart.) Mez e *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., acompanhada de *Cryptocarya aschersoniana* Mez e *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, e ao norte do estado de Santa Catarina e ao sul do estado do Paraná, a espécie estava associada à Imbuia (*Ocotea porosa* [Ness e Mart.] Barroso), formando agrupamentos bem característicos, sendo que atualmente, a araucária, que ocupava cerca de 70% do Planalto Meridional, restringe-se, a poucos indivíduos isolados nos pontos inacessíveis ou em meio a grandes culturas de soja e trigo (IBGE, 2012).

No estado do Paraná, a cobertura vegetal pertencente à tipologia Floresta Ombrófila Mista é de 1.866.412,42 ha, equivalente a 32,62% de sua área original (ACCIOLY, 2013). A cobertura vegetal original do estado do Paraná era de 19.985.344,9 ha, sendo 5.721.843,3 ha recobertos por Floresta Ombrófila Mista (Figura 2).

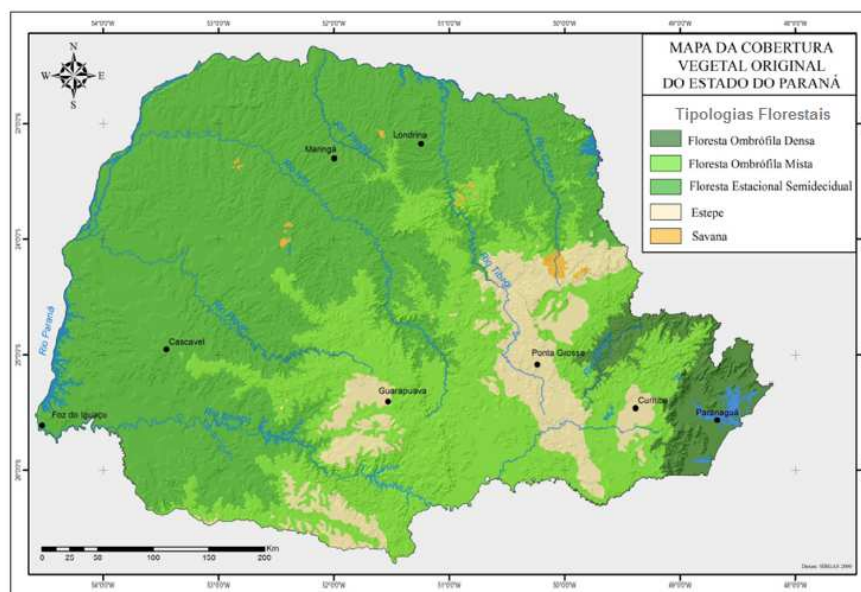


FIGURA 2 - MAPA DA COBERTURA VEGETAL ORIGINAL DO ESTADO DO PARANÁ
 FONTE: Maack (1950), adaptado por Galvão (2007) e modificado por Accioly (2013)

A exploração de madeiras de grande valor econômico de espécies como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro), *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (imbuia), *Luehea divaricata* Mart. (açoita-cavalo) e *Cedrela fissilis* Vell. (cedro), e também a exploração de outras espécies não-madeiráveis, comuns nessa formação vegetal, como *Dicksonia sellowiana* Hook. (xaxim) e *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek (espinheira-santa), exploradas como produtos secundários, reduziu suas reservas naturais, o que, acompanhado da falta de estudos sobre a demografia e a dinâmica na comunidade, colocam essas populações residuais em grande perigo (NASCIMENTO; LONGUI; BRENA, 2001).

Contudo, apesar de o extrativismo madeireiro ter contribuído de maneira relevante no desbravamento do sul do Brasil, foram à abertura das fronteiras e a colonização para fins agrícolas e pecuários os grandes responsáveis pela destruição dos recursos naturais na Floresta com Araucária (SANQUETTA; MATTEI, 2006).

O processo de antropização na região de abrangência da Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil se deu de forma diferenciada no espaço e no tempo, e quanto ao nível de antropização, o que fez com que essas áreas atualmente integrem um mosaico de formações em distintas fases sucessionais (SANQUETTA; MATTEI, 2006). Sendo assim, torna-se difícil na região fitoecológica da Floresta de Araucária a distinção inequívoca do estágio sucessional, uma vez que a sucessão, na maior parte dos casos não é fruto de corte raso e integral da vegetação (SANQUETTA; MATTEI, 2006).

Apesar do intenso processo de antropização no passado, a Floresta Ombrófila Mista na Bacia do Rio Iguaçu vem demonstrando nos últimos anos, crescimento da cobertura florestal e do porte da vegetação, aumentando também com isso a estocagem de carbono (DOUBRAWA, 2013). Contudo, alguns estudos indicam que um aumento na temperatura poderia transformar formações da Mata Atlântica de importantes reservatórios de carbono, para fontes de emissão de carbono e nitrogênio para a atmosfera (VILLELA *et al.*, 2012).

3.3 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS

A quantificação do carbono em ecossistemas florestais começa com a quantificação da massa. Essa é então convertida a carbono multiplicando-a pelo percentual de carbono da massa seca (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008). Para a quantificação da massa podem ser empregados métodos diretos ou indiretos.

Os métodos diretos implicam em determinações, que são medidas reais feitas diretamente no material de análise, como a pesagem de um fuste inteiro para a determinação da biomassa, enquanto os métodos indiretos geram estimativas por meio de relações quantitativas ou matemáticas como razões ou regressões (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

O IPCC nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa considera como reservatórios de carbono em florestas: a biomassa (biomassa acima do solo e biomassa de raízes), necromassa – do termo em inglês “*dead organic matter*” (incluindo necromassa lenhosa grossa e serapilheira) e solo (material orgânico do solo) (IPCC, 2006). A seguir serão descritos alguns aspectos da quantificação de carbono nos reservatórios descritos pelo IPCC.

3.3.1 Biomassa florestal

O termo biomassa pode ser definido como a quantidade total de matéria orgânica, viva ou morta, acima e abaixo do solo, expressa em toneladas de massa

seca por unidade de área, como o hectare (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008). Entretanto, o termo biomassa florestal pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea (SANQUETTA, 2002).

Os estoques de carbono das árvores são estimados de forma mais precisa por meio de métodos diretos, utilizando-se um dinamômetro ou uma balança para determinar o peso do fuste inteiro, por exemplo (SANQUETTA; BALBINOT, 2004). Contudo, vários modelos são atualmente utilizados para estimar a biomassa de árvores, sendo que cada um deles incorpora diferentes métodos de cálculo que podem afetar significativamente as estimativas de biomassa total de árvores acima do solo, e o respectivo estoque de carbono (ZHOU; HEMSTROM, 2009).

Estudos de biomassa de florestas neotropicais são concentrados em regiões da Amazônia e da América Central, sendo que estimativas padronizadas de estoques de biomassa acima do solo para a Mata Atlântica brasileira são raros (ALVES *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2011).

A biomassa e o estoque de carbono são estimados por meio de equações alométricas adequadas aplicadas às medidas da árvore (BROWN, 2002). Comumente as equações relacionam a biomassa apenas ao diâmetro à altura do peito (*dap*), e embora a precisão das equações oriundas da combinação de *dap* e altura da árvore como variáveis independentes é comumente superior, medir a altura da árvore pode ser demorado e poderá aumentar o custo de um programa de monitoramento (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

O carbono estocado na biomassa viva acima do solo das árvores é tipicamente o maior reservatório florestal, e o mais diretamente impactado pelo desmatamento e degradação (GIBBS *et al.*, 2007), sendo por isso mais frequentemente mensurado, em comparação ao estoque presente na biomassa herbácea ou arbustiva.

A biomassa de raízes, por representar em média cerca de 20 a 26% da biomassa total (acima do solo e de raízes), é também um reservatório de carbono de grande importância a ser medido (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008), mas devido à dificuldade na mensuração direta dessa variável, o compartimento frequentemente não é avaliado no inventário de carbono (LACLAU, 2003), ou a determinação é realizada por meio de estimativas. Cairns *et al.* (1997), utilizando uma compilação de dados existentes sobre biomassa de raízes nas florestas do mundo, geraram uma equação de regressão que pode ser utilizada para estimar a biomassa de raízes

baseada na biomassa acima do solo. Contudo, segundo Robinson (2007) os inventários baseados em estimativas do carbono nas raízes provavelmente representam apenas 60%, em média, do valor real.

Métodos para a estimativa da biomassa de raízes são bem menos comuns do que para estimativa da biomassa acima do solo (CAIRNS *et al.*, 1997; HARMON *et al.*, 2001). Esse fato ocorre devido principalmente às dificuldades de obtenção de dados, sendo a amostragem de raízes uma atividade custosa e que demanda bastante tempo devido à necessidade de escavação e retirada de todo o sistema radicular (RESH *et al.*, 2003; BRITEZ *et al.*, 2006).

É muito comum o uso de uma razão que exprime a relação entre raízes e parte aérea para estimar a biomassa de raízes (BROWN, 2002). O IPCC em seu Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa sugere o uso dessas relações quando não há valores locais disponíveis, sendo específicos para diferentes domínios climáticos e zonas ecológicas (IPCC, 2006).

Com relação à representatividade dos compartimentos da biomassa, em ecossistemas florestais, seguramente a maior fração da biomassa compreende o caule ou fuste das árvores, sendo a folhagem uma das frações mais trabalhosas de serem determinadas (SANQUETTA, 2002).

O IPCC em seu Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 1996 sugeria o uso de 0,50 como valor *default* de fração de carbono para toda a biomassa, se não houvesse disponíveis valores específicos (IPCC, 1996), valor esse que ainda vem sendo empregado. Contudo, o novo Guia de 2006 apresenta valores para diferentes domínios climáticos e partes da árvore, sendo adotado 0,47 como *default* geral de carbono na biomassa (IPCC, 2006).

3.3.2 Necromassa florestal

A necromassa dos ecossistemas florestais é composta pela serapilheira e pelo material lenhoso de maiores dimensões, como árvores mortas em pé, e galhos e troncos caídos sobre o solo (IPCC, 2003; PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

Diversos estudos destacam a importância da necromassa no ecossistema florestal. Com relação à biodiversidade, as árvores mortas oferecem habitat para muitas espécies (STOKLAND; SIITONEN; JONSSON, 2012); e o retorno dos nutrientes para a biomassa por meio do solo ocorre principalmente pela decomposição da serapilheira (VITOUSEK, 1982). A necromassa também pode exercer influência em aspectos geomorfológicos, sendo um componente importante dos sistemas fluviais, pois afeta a hidrologia dos canais e o transporte e armazenamento de solos e sedimentos (HARMON *et al.*, 1986; KENNEDY; WOODS, 2012).

Contudo, recentemente, maior atenção tem sido direcionada ao material depositado no piso florestal devido ao seu papel no estoque e no ciclo global de carbono. O IPCC define cinco reservatórios de carbono no ecossistema florestal, sendo eles: biomassa acima do solo, biomassa de raízes, matéria orgânica do solo, madeira morta e serapilheira, sendo os dois últimos incluídos na definição de necromassa (IPCC, 2006). A necromassa grossa (madeira morta) e fina representam substanciais estoques de carbono do ecossistema florestal, e há uma lacuna de conhecimento sobre como esses estoques podem responder às mudanças climáticas (WOODALL; LIKNES, 2008).

Apesar de a necromassa representar 11% do carbono estocado nos ecossistemas florestais no mundo (FAO, 2010), a sua decomposição é um processo dominante no balanço do estoque de carbono orgânico do solo (IPCC, 2006; BERG; MCCLAUGHERTY, 2014), sendo que, em média no mundo, 45% do carbono estocado no ecossistema florestal encontram-se no solo (FAO, 2010).

No mais recente relatório de Avaliação Global dos Recursos Florestais (FAO, 2010), 180 países e áreas, representando 94% das florestas do mundo reportaram o estoque de carbono na biomassa florestal. Contudo, com relação ao estoque de carbono na serapilheira esse percentual diminui para 78% e é ainda menor no que diz respeito ao estoque de carbono na madeira morta, sendo reportado por 72 países e áreas, representando 61%, demonstrando a carência de dados sobre esses dois compartimentos da biomassa acima do solo.

Ainda, segundo a FAO (2010), boa parte dos países que reportaram o estoque de carbono na necromassa não possuía dados nacionais, sendo utilizados valores de referência (valores *default*) disponíveis no Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas do IPCC (2003).

O IPCC define os valores *default* a partir de uma compilação dos resultados de pesquisas científicas desenvolvidas em todo o mundo. Contudo, no Guia de Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, publicado em 2006, o IPCC decidiu omitir os valores *default* de estoque de carbono para madeira morta devido à baixa quantidade de dados regionais disponíveis. Com relação aos valores utilizados para estimar o estoque de carbono na serapilheira o órgão detectou problemas relativos ao tipo e tamanho de material considerado nas coletas, o que resultou em valores incompletos (IPCC, 2006).

De acordo com a pesquisa realizada por Woodall *et al.* (2009), a inclusão da necromassa lenhosa grossa (madeira morta) nos inventários florestais nacionais tem sido um fenômeno recente, tendo-se iniciado para a maioria dos países a partir do ano 2000.

Necromassa lenhosa grossa (madeira morta)

Com relação à madeira morta sobre o piso florestal, a abordagem para determinação do estoque de carbono geralmente inclui estimar o volume de material por classe de densidade básica da madeira (relacionado frequentemente com o estágio de decomposição) e converter para massa como um produto do volume pela densidade básica, para cada classe de densidade (IPCC, 2003). Portanto, o primeiro passo na estimativa do estoque de carbono é a quantificação do volume do material.

Os métodos mais comumente utilizados para a estimativa do volume de necromassa lenhosa são: o método da linha interceptadora (Ex. KELLER *et al.*, 2004; POLO; HALLGREN; LESLIE, 2013; ARYAL *et al.*, 2014) e o método da parcela de área fixa (Ex. FONSECA *et al.*, 2011; MOTA; TOREZAN, 2013).

O IPCC (2003) sugere o uso do método da linha interceptadora quando se estima que a quantidade de madeira morta represente cerca de 10 a 15% da biomassa acima do solo, e para quantidades acima de 15% sugere o uso de parcelas de área fixa. Segundo o IPCC, a estimativa dessa proporção deve ser baseada no parecer de peritos. A seguir é apresentada uma descrição geral desses dois métodos de estimativa do volume e da sua aplicação para o inventário de carbono na necromassa lenhosa.

- Linha interceptadora

O método da linha interceptadora que hoje é aplicado no setor florestal para estimativa do material lenhoso foi desenvolvido por Warren e Olsen (1964) para estimar o volume de resíduos após corte raso e adaptado por Van Wagner (1968) motivado por seu envolvimento na pesquisa sobre incêndios florestais (WARREN, 1990).

O método consiste em dispor uma linha de tamanho pré-determinado no piso florestal e medir o diâmetro de cada peça de material lenhoso que cruzar a linha (considerando os tamanhos mínimos de material incluídos na pesquisa). Considerando o diâmetro das peças e o comprimento da linha é possível estimar o volume de material pela equação (1), de Van Wagner (1968).

$$V = \pi^2 \cdot \frac{(d1^2 + d2^2 + \dots + dn^2)}{8.L} \quad (1)$$

Em que:

V = volume ($m^3.ha^{-1}$);

$d1$, $d2$, dn = diâmetro das peças no ponto de interseção (cm);

L = comprimento da linha (m).

A disposição das linhas pode variar, podendo ser constituída, por exemplo, de uma única linha reta, duas linhas em ângulos retos (IPCC, 2003; PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005), linhas formando um triângulo equilátero (VAN WAGNER, 1982) ou linhas partindo do centro de uma parcela circular (Ex. USDA, 2011). Utilizar linhas em mais de uma direção pode ser útil para evitar viés devido à orientação das peças, mas a escolha do arranjo irá depender do julgamento e experiência (VAN WAGNER, 1982).

Para estimar a massa de madeira morta a partir do volume é preciso, ainda no campo, atribuir uma classe de decomposição a cada peça, e amostras devem ser coletadas para a determinação da densidade básica (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005). É comumente observado o uso de três classes de decomposição, podendo ser chamadas de: sólida, intermediária e altamente decomposta (Ex. PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005), havendo casos do

uso de até cinco classes (Ex. USDA, 2011). De acordo com Woodall *et al.* (2009), dos países incluídos em sua pesquisa, 68 % utilizavam 4 ou 5 classes de decomposição nos inventários de madeira morta. O volume obtido para cada classe de decomposição é multiplicado pela densidade básica média da classe (g.cm^{-3}) para obter a massa em megagramas por hectare.

Desde a criação do método da linha interceptadora surgiram muitas pesquisas propondo o seu aprimoramento (WOODALL; WILLIAMS, 2007). O aprimoramento pode incluir a necessidade de medição do diâmetro das peças não apenas no ponto de interseção da linha, mas também nas suas extremidades, e ainda a medição do comprimento da peça. Um exemplo do uso desse método é o Inventário Nacional dos Estados Unidos da América (USDA, 2011). Contudo, há que se considerar que a alteração do método, apesar de poder proporcionar diminuição de erros de estimativa, aumenta o tempo gasto na amostragem. Uma modificação do método foi a chamada *planar intersect technique* (BROWN, 1971), que, segundo Brown (1974), possui as mesmas bases teóricas da *line intersect technique*.

A necromassa lenhosa fina também pode ser amostrada utilizando a base metodológica da linha interceptadora, sendo considerada na amostragem apenas uma parte do comprimento total da linha (HARMON; SEXTON, 1996). Esse método é utilizado no Inventário Nacional dos Estados Unidos da América (USDA, 2011), sendo necessário nesse caso apenas a contagem do número de peças que interceptam a linha e não a medição dos diâmetros. Pode ser impraticável e desnecessário mensurar o diâmetro exato de todas as peças que cruzam a linha, especialmente quando se trata de material de menores dimensões, sendo então as peças mensuradas de acordo com classes de diâmetro utilizando um gabarito de dimensões conhecidas (VAN WAGNER, 1982).

Por fim, há que se considerar que, apesar da essência do método da linha interceptadora ser simples, muitas questões surgem em sua utilização (VAN WAGNER, 1982). Pode haver situações em que uma única peça de formato curvo toque duas vezes a mesma linha, ou ainda toque duas linhas de amostragem. Para esse e outros tipos de situação recomenda-se consultar o Manual de Campo do Inventário Florestal Norte Americano (USDA, 2011) e o Manual para Inventário de Madeira Morta publicado por Brown (1974).

- Parcela de área fixa

Nesse método a forma e o tamanho da parcela são pré-estabelecidas (HARMON; SEXTON, 1996), podendo ser quadráticas ou de raio fixo (WOODALL *et al.*, 2009), sendo incluído na amostragem o material que se encontra dentro dos limites da parcela. Além do comprimento, pode-se utilizar a medida do diâmetro central e das extremidades das peças (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008), ou ainda realizar a medição do diâmetro a cada 1 m ao longo da peça (IPCC, 2003; EATON; LAWRENCE, 2006), entre outros sistemas. O sistema de medição dos diâmetros da peça irá depender da fórmula utilizada para estimativa do volume. Nesse método também é necessário enquadrar as peças de acordo com a classe de decomposição e retirar amostras para determinação da densidade para determinação da massa (HARMON; SEXTON, 1996).

A necromassa lenhosa fina também pode ser estimada em pequenas parcelas (microparcels) de área fixa, sendo o peso auferido no lugar do diâmetro podendo-se utilizar uma balança portátil, necessitando-se coletar subamostras para determinar o teor de umidade e possibilitar a determinação da massa seca total da parcela (HARMON; SEXTON, 1996). Eaton e Lawrence (2006) amostraram necromassa lenhosa fina em microparcels de 1m x 1m dispostas dentro das parcelas de amostragem de necromassa lenhosa grossa.

Classes de decomposição e determinação da densidade básica da madeira

Conforme citado anteriormente, para determinar a massa do material morto a partir do volume é necessário enquadrar cada peça encontrada em uma classe de decomposição (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005). A forma de determinar em que classe cada peça irá se inserir também varia bastante. O Serviço Florestal Brasileiro (2014) utiliza como parâmetro a aparência do material, considerando como nível 1 de decomposição (novo) as peças com casca intacta, presença de ramos e textura de madeira intacta; nível 2 (decomposição inicial), peças com resquícios de casca, sem ramos e madeira firme; e nível 3 (decomposição avançada), sem casca, sem ramos e com madeira em estágio de decomposição médio a avançado, com aparência esfarelenta.

Outra forma de determinar a classe de decomposição da madeira morta é apresentada por Pearson, Brown e Ravindranath (2005), em que esses autores

sugerem golpear as peças com uma serra ou facão e a determinação da densidade ocorre apenas em função do nível de dificuldade para afundar a ferramenta na madeira. Contudo, há que se considerar que ambos os métodos são subjetivos, e a determinação da classe de decomposição que cada peça se enquadra pode variar de acordo com a observação do responsável designado para realizar o inventário.

Devido possivelmente à dificuldade em se amostrar a madeira morta para obtenção da densidade para cada fisionomia estudada, opta-se frequentemente pelo uso de valores da literatura (Ex. POLO; HALLGREN; LESLIE, 2013; ARYAL *et al.*, 2014). Contudo, essa prática é aconselhável apenas quando os dados disponíveis são compatíveis com as características da área estudada, uma vez que a densidade básica média obtida para cada classe pode variar de acordo com a densidade natural das espécies presentes na tipologia florestal. Além do que, características locais podem influenciar no número de peças encontradas em cada classe de decomposição, influenciando na representatividade da amostra.

Eaton e Lawrence (2006) amostraram 181 peças de madeira morta em um estudo em uma floresta tropical seca no sul da Região Peninsular de Yucatán no Estado de Campeche, México, cobrindo uma vasta gama de espécies, sendo consideradas cinco classes de decomposição. Contudo, apesar do grande número de peças amostradas, não foram encontradas amostras da Classe 1, uma vez que todas as peças haviam sofrido algum grau de decomposição e a Classe 5 foi raramente encontrada resultando em apenas duas amostras.

Brown (2002) sugere, para a melhoria na estimativa da massa de madeira morta, a compilação dos dados existentes de densidade por classe de decomposição e tipologia florestal, facilitando o seu acesso. Esse autor também sugere o desenvolvimento de uma ferramenta portátil de método não destrutivo para determinação da densidade da madeira morta, o que requereria, contudo o desenvolvimento de uma nova tecnologia.

Existe um equipamento chamado *Pilodyn* que vem sendo utilizado na área florestal para a determinação indireta da densidade da madeira. Trata-se de um penetrômetro que insere um pino de aço na árvore com uma força precisa e a profundidade que o pino penetra é indicada no aparelho e é inversamente proporcional à densidade da madeira (HANSEN, 2000). Segundo esse autor, o equipamento foi desenvolvido na Suíça inicialmente para estimar o estado de decomposição de postes telefônicos e atualmente é bastante utilizado para

determinar a qualidade da madeira para uso industrial. Makipaa e Linkosalo (2011) testaram o equipamento para determinar a densidade da madeira morta em diferentes níveis de decomposição e utilizando pinos de espessuras variadas. Esses autores concluíram que essa ferramenta é promissora para a determinação rápida da densidade da madeira morta no campo. Contudo, é necessário modificá-la para utilizar uma espessura maior do que o padrão do aparelho (2,5 mm), principalmente em se tratando de peças com níveis mais avançados de decomposição.

Teor de carbono da necromassa

Para estimar o estoque de carbono, a massa obtida é então multiplicada pelo teor de carbono do material. Os métodos mais comumente utilizados para estimativa do teor de carbono na madeira são: combustão seca total (Ex. PRESTON *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2011; SANQUETTA *et al.*, 2013) e oxidação química (CALDEIRA *et al.*, 2008; WATZLAWICK *et al.*, 2012).

É também comum o uso de teores de carbono obtidos da literatura (Ex. POLO; HALLGREN; LESLIE, 2013). Contudo, o teor de carbono na necromassa pode variar de acordo com o grau de decomposição, podendo ser mais elevado nos estágios avançados em comparação a madeira recentemente depositada e a biomassa viva (HARMON *et al.*, 2013).

Serapilheira

A estimativa do estoque de serapilheira no piso florestal também apresenta diferentes métodos, sendo mais comum o uso de gabarito de dimensões conhecidas (Ex. KLEINPAUL *et al.*, 2005; GOUGH *et al.*, 2007; WATZLAWICK *et al.*, 2012; GODINHO *et al.*, 2014), que pode ser confeccionado com tubos de PVC (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

O método consiste em lançar o gabarito em diferentes pontos nas parcelas de estudo e coletar toda a serapilheira presente dentro do quadro, podendo-se utilizar uma faca para cortar as peças que atravessam a borda do gabarito, sendo que, dependendo da quantidade de material existente é possível pesá-lo no campo e retirar uma subamostra para determinação da umidade, ou ainda levar todo o

material para laboratório sem a necessidade de pesar no campo (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

Outra forma de estimar a quantidade de serapilheira presente no piso florestal é pela medição da profundidade da camada desse material com uma régua (Ex. USDA, 2011). O Serviço Florestal Brasileiro (2014) em seu manual de campo recentemente lançado também adota o método de medição da profundidade da serapilheira. A profundidade (ou espessura) de serapilheira, entretanto, muitas vezes não representa adequadamente a massa de material acumulada (CORRÊA, 2007).

Esse método pode ser aplicado ao longo da linha de amostragem de necromassa lenhosa grossa (Ex. KOSTEL-HUGHES; YOUNG; CARREIRO, 1998; POLO; HALLGREN; LESLIE, 2013). O IPCC (2003) reconhece o método como uma alternativa para lugares onde a serapilheira já é bem definida e profunda (acima de 5 cm), sendo possível com isso desenvolver uma equação de regressão local que relaciona a profundidade da camada com a massa por unidade de área. Contudo, segundo esse órgão, é preciso também realizar algumas amostragens de serapilheira com o uso de gabarito, sendo necessários pelo menos 10 a 15 pontos de coleta de dados.

O *Verified Carbon Standard* (VCS) é um padrão do mercado voluntário de carbono para o desenvolvimento de projetos de redução de gases de efeito estufa. Para estimativa do estoque de carbono na serapilheira o padrão sugere o uso do método da medição da profundidade. Contudo, para obter a massa a partir do volume sugere obter a densidade da serapilheira com o uso de um molde metálico de volume conhecido pressionado contra a camada de serapilheira até enchê-lo. As amostras devem ser secas para determinar o peso por unidade de volume (VCS, 2012), método esse utilizado por Kostel-Huges, Young e Carreiro (1998). Também é possível utilizar dados de densidade básica de trabalhos publicados (Ex. POLO; HALLGREN; LESLIE, 2013), tendo-se dificuldade de se encontrar valores para as diversas tipologias florestais (CHOJNACKY; AMACHER; GAVAZZI, 2009).

Necromassa lenhosa fina

A fração da necromassa florestal composta por materiais lenhosos de menores dimensões frequentemente não é avaliada nos inventários, uma vez que estudos de serapilheira incluem, em geral, material lenhoso de até cerca de 2 cm de

diâmetro e estudos de madeira morta incluem, em geral, material acima de 10 cm de diâmetro.

Segundo Woodall *et al.* (2009), dos países incluídos em sua pesquisa que realizavam inventário de madeira morta, apenas 47% mensuravam necromassa lenhosa fina, devido possivelmente a fatores como: realização da medição em conjunto com a serapilheira e/ou relação custo/benefício relativamente alta.

A madeira morta costuma apresentar uma distribuição espacial não uniforme na floresta (DUCEY *et al.*, 2002; PASHER; KING, 2009). As quantidades (Mg.ha^{-1}) não seguem uma distribuição normal perfeita, mas tendem a apresentar assimetria positiva, ou seja, maior número de parcelas com baixa quantidade de madeira morta e poucas parcelas com uma quantidade maior de material (HARMON *et al.*, 1986). Com relação à distribuição dos diâmetros, é comum uma distribuição exponencial negativa (Ex. RIBEIRO *et al.*, 2012), com maior número de peças de diâmetros pequenos e poucas peças de maiores diâmetros.

Variâncias amostrais associadas com madeira morta normalmente são muito altas, necessitando grande número de unidades amostrais para um inventário eficiente (HARMON *et al.*, 1986). Segundo Woldendorp *et al.* (2004), para se obter estimativas precisas dessa variável é necessária uma grande intensidade amostral.

O IPCC (2003) sugere, quando da aplicação do método da linha interceptadora, um comprimento mínimo de 100 m. Para necromassa lenhosa fina, considerando o método da parcela fixa, Harmon e Sexton (1996) sugerem parcelas de 1 m^2 para necromassa com diâmetro inferior a 10 cm, e devido à alta variabilidade recomendam o uso de pelo menos 10 parcelas para cada povoamento amostrado.

Outros tipos de materiais

O IPCC (2006) considera no compartimento necromassa lenhosa (madeira morta) não apenas as árvores e galhos, mas também tocos e raízes mortas que possuam diâmetro igual ou superior a 10 cm (ou o diâmetro especificado pelo país).

É possível realizar a estimativa da massa de raízes mortas em função do diâmetro das árvores mortas (Ex. WEGGLER *et al.*, 2012). Contudo, métodos para a estimativa da massa de raízes são bem menos comuns do que para estimativa da biomassa acima do solo (CAIRNS *et al.*, 1997; HARMON *et al.*, 2001).

Esse fato ocorre devido principalmente às dificuldades de obtenção de dados, sendo a amostragem de raízes uma atividade custosa e que demanda bastante tempo (RESH *et al.*, 2003). Em se tratando de inventários nacionais, quase nenhum dos 66 países pesquisados por Woodall *et al.* (2009) realizavam a mensuração de raízes mortas.

Quanto aos tocos de árvores mortas, segundo Nordén *et al.* (2004) esse é um componente da madeira morta geralmente ignorado. Porém, 60% dos países pesquisados por Woodall *et al.* (2009) inventariavam tocos de árvores mortas. Segundo esses autores, essa discrepância no número de componentes mensurados torna as estimativas de incomparáveis entre os países.

3.3.3 Solo

Os solos florestais desempenham um importante papel no ciclo de carbono global (CALDEIRA *et al.*, 2002; DRESNER *et al.*, 2007), sendo estimado que eles representem 45% do total de carbono estocado em ecossistemas florestais (FAO, 2010). Com exceção apenas das florestas tropicais, a maior quantidade de carbono florestal é estocada no solo (REICHSTEIN, 2007), embora esse compartimento seja bastante suscetível a emissões de gases de efeito estufa em decorrência de distúrbios (DINCA *et al.*, 2012).

A matéria orgânica do solo inclui toda a fração não mineral, desde restos de plantas e animais em decomposição até o chamado húmus do solo, incluindo também tecido microbiano vivo ou morto, os compostos sintetizados por microrganismos e derivados desses materiais produzidos como um resultado da deterioração microbiana (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008).

O reservatório de carbono presente na matéria orgânica do solo, segundo o IPCC inclui o carbono orgânico em solos minerais a uma profundidade especificada escolhida pelo país, além de raízes finas vivas e mortas e a necromassa, quando essas não podem ser distinguidas do solo (IPCC, 2006).

A transferência de carbono desse compartimento para a atmosfera ocorre por meio da respiração natural do solo, que exerce um papel crítico na regulação da ciclagem em escalas regionais e globais, podendo também ocorrer devido a

distúrbios, como a introdução de práticas de cultivo que quebram os agregados expondo a matéria orgânica ao ataque microbiano, acelerando a decomposição (LUO; ZHOU, 2006). Alguns estudos indicam que o aumento da temperatura em decorrência das mudanças climáticas, também poderá acelerar os processos de decomposição e aumentar a liberação de carbono do solo para a atmosfera (REICHSTEIN, 2007; VILLELA *et al.*, 2012), podendo o solo ser considerado como fonte e sumidouro de carbono (BRUCE *et al.*, 2010).

Os maiores responsáveis pela entrada de carbono no solo são as plantas e animais mortos em decomposição (BRUCE *et al.*, 2010), e por isso a matéria orgânica tende a se concentrar nas primeiras camadas com cerca de metade do carbono orgânico presente nos primeiros 30 cm (IPCC, 2006). Sendo assim, amostras para a determinação do carbono orgânico do solo são geralmente coletadas a uma profundidade de até 30 cm (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008).

A camada superior do solo também é a mais quimicamente decomponível e está mais diretamente exposta a distúrbios naturais e antropogênicos (IPCC, 2006). A maior parte dos países que reportaram os estoques de carbono no solo para o FRA 2010 (*Global Forest Resources Assessment – Levantamento dos Recursos Florestais Globais*) utilizou valores *default* do IPCC para profundidade de 30 cm, e alguns dos países que realizaram efetivamente a amostragem do solo adotaram diferentes profundidades (FAO, 2010), o que pode dificultar ou impossibilitar a comparação de resultados e a realização de estimativas regionais e globais. No relatório brasileiro para o FRA 2010, para a estimativa do estoque carbono foi utilizada a profundidade de 1 m para Amazônia, Cerrado e Pantanal e 0,90 m para Mata Atlântica e Pampa (FAO, 2009). O IPCC possui valores *default* de referência de estoque de carbono em solos minerais para 30 cm de profundidade por tipo de solo (arenoso, vulcânico, etc) e região climática (IPCC, 2006).

Costumeiramente os estudos de carbono no solo estratificam a amostragem por profundidade e o estoque é calculado separadamente para cada uma delas, mas devido à necessidade de diminuir custos, amostras compostas inteiras são processadas de maneira única, sem considerar a estratificação vertical, o que incorre no risco de mascarar a variabilidade existente (SMITH, 2000).

No método mais comumente empregado, é necessário cavar uma trincheira e retirar as amostras do perfil do solo nas camadas adotadas (SMITH, 2000) para determinação da densidade e do teor de carbono (ALLEN *et al.*, 2010), obtendo-se o

estoque de carbono em megagramas por unidade de área (Mg.C.ha^{-1}), para cada uma das camadas (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008).

A determinação da densidade do solo consiste usualmente em secar e pesar uma amostra de solo, cujo volume é conhecido ou necessita ser determinado, sendo que a forma como a amostra de solo é obtida difere entre os métodos (LOGSDON; MBUYA; TSEGAYE, 2008). É frequente o uso do método do anel volumétrico para a determinação da densidade, o qual consiste na amostragem do solo com estrutura indeformada em um cilindro metálico de volume conhecido e bordas cortantes (EMBRAPA, 1997). O anel é martelado por inteiro na lateral do perfil, sendo então retirado com cuidado para evitar a perda de material (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005). No entanto, em florestas bem desenvolvidas a amostragem pode ser dificultada pela presença de raízes (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

Na retirada do amostrador deve-se ter o cuidado de não compactar a amostra e preencher todo o espaço do anel com solo (PIRES; ROSA; TIMM, 2011), e ainda no campo, as amostras de cada camada devem ser removidas dos anéis e colocadas em sacos de plástico com todas as informações de identificação necessárias (MÄKIPÄÄ *et al.*, 2012).

Existem outros métodos para a amostragem do solo para determinação da densidade que podem ser citados como, por exemplo, o uso do Trado de *Uhland*, Trado modelo *Soil Moisture*, Trado *Bravifer* AI-50 e Trado *Bravifer* AI-100 (FOLEGATTI *et al.*, 2001; LOGSDON; MBUYA; TSEGAYE, 2008).

Em laboratório, as amostras para a determinação da densidade do solo devem ser secas a uma temperatura de 105°C por 48 horas (EMBRAPA, 1997; PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005), e se o solo contém fragmentos rochosos grosseiros os mesmos devem ser pesados separadamente (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

É importante destacar que devem ser retiradas amostras distintas para a determinação da densidade e do teor de carbono, uma vez que a preparação das amostras para análise é diferente (PEARSON; BROWN; BIRDSEY, 2007).

As amostras retiradas para a determinação do teor de carbono devem ser peneiradas em peneira com malha de 2 mm (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005). A concentração de carbono pode ser diretamente medida utilizando-se técnicas de combustão seca ou úmida (BRUCE *et al.*, 2010). Uma

estimativa mais acurada pode ser obtida com a utilização de analisadores de combustão seca que fornecem diretamente as concentrações de carbono total (MÄKIPÄÄ *et al.*, 2012), mas o método Walkley-Black também é comumente utilizado (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

Com relação à frequência de amostragens, o carbono no solo é menos frequentemente amostrado comparativamente a biomassa acima do solo, uma vez que a taxa anual de mudança é baixa (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008).

3.4 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA NOS BIOMAS BRASILEIROS

De acordo com o Relatório de Referência das Emissões de Dióxido de Carbono no Setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, do Segundo Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, para o bioma Amazônia os dados de biomassa acima do solo foram baseados no inventário florestal daquela região e nos mapas fitofisionômicos do Projeto Radam (Radar na Amazônia) (FUNCATE, 2010). Utilizou-se o percentual indicado por Silva (2007) de contribuição da serapilheira de 3% da biomassa total da floresta (FUNCATE, 2010). De acordo com Silva (2007), os galhos com diâmetro de base acima de 5 mm foram considerados como serapilheira grossa. Os dados do projeto Radam também foram utilizados na estimativa do estoque de carbono de algumas fisionomias vegetais do bioma Amazônia, e para as demais utilizaram-se valores da literatura (FUNCATE, 2010).

Para os biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, segundo a FUNCATE (2010) foram utilizados fatores de expansão da biomassa, que expressariam uma relação entre a biomassa viva e a necromassa (madeira morta e serapilheira). Para a estimativa dos estoques de carbono foram utilizados valores da literatura, estando descritos no relatório a fonte utilizada para o estoque adotado em cada fisionomia (FUNCATE, 2010). Tanto o relatório de referência, quanto a própria comunicação nacional apresentam apenas o resultado total do estoque de carbono das fisionomias de cada bioma, mas não há uma discriminação do estoque na necromassa.

No relatório brasileiro para o *Global Forest Resources Assessment* (FAO, 2009), para a estimativa do estoque de madeira morta do Cerrado e Pantanal considerou-se o tronco e raízes das árvores mortas em pé com diâmetro mínimo estabelecido para o inventário das árvores vivas em cada fisionomia. Quanto a Mata Atlântica e Pampa, foi utilizado um fator de expansão da biomassa, que teria sido obtido de estudos disponíveis. Harmon *et al.* (2001), ao compilar os resultados de algumas pesquisas, obtiveram um fator de relação entre a biomassa viva e morta de 0,15 para florestas decíduas, 0,14 para florestas tropicais e 0,25 em florestas perenifólias. O Guia de Boas Práticas do IPCC (2003) contém uma tabela com taxas de mortalidade, estoque de necromassa e razão biomassa viva:morta, e cita o trabalho de Harmon *et al.* (2001) como fonte dos dados.

Segundo o relatório brasileiro para o FRA 2010, os dados utilizados para estimativa do peso médio de serapilheira em toneladas por hectare na Mata Atlântica para cada formação foi: estágio avançado (11,07 Mg.ha⁻¹), estágio intermediário (7,61 Mg.ha⁻¹), e estágio inicial (5,29 Mg.ha⁻¹), e para outras terras florestadas (3,00 Mg.ha⁻¹), não estando descrita qual a fonte dos dados (FAO, 2009). Também não há uma descrição do método de estimativa da serapilheira dos demais biomas.

Com relação ao teor de carbono para a estimativa do estoque na madeira morta, foi utilizado 470 g.kg⁻¹ para Mata Atlântica e Pampa. O teor foi aplicado tanto à biomassa acima do solo e biomassa de raízes, quanto à madeira morta. Para os demais biomas não são descritos quais teores foram aplicados para madeira morta e serapilheira. Para as plantações florestais é descrito que foi utilizado o teor de 470 g.kg⁻¹ para serapilheira, o mesmo utilizado para biomassa acima do solo (FAO, 2009).

Na Tabela 1 estão os estoques de carbono na necromassa dos anos de 1990 e 2010 segundo o relatório brasileiro apresentado para compor o FRA 2010.

TABELA 1 - ESTOQUES DE NECROMASSA E CARBONO NOS BIOMAS E PLANTAÇÕES FLORESTAIS DO BRASIL EM 1990 E 2010

Bioma	Serapilheira (milhões de Mg)				Madeira morta (milhões de Mg)			
	Massa		Carbono		Massa		Carbono	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
Amazônia	n.d.	n.d.	1.878,4	1.762,2	7.677,2	7.160,9	3.685,1	3.437,3
Caatinga	n.d.	n.d.	95,6	84,2	154,1	135,6	69,3	61,0
Cerrado	n.d.	n.d.	336,7	260,9	574,5	445,2	287,3	222,6
Pantanal	n.d.	n.d.	34,57	28,2	78,0	63,6	39,0	31,79
Mata Atlântica	n.d.	n.d.	126,0	113,1	219,6	197,2	103,2	92,7
Pampa	n.d.	n.d.	15,1	14,0	26,4	24,4	12,4	11,4
Plantações florestais	n.d.	n.d.	14,1	20,1	15,9	31,0	7,3	14,1
Total	n.d.	n.d.	2.500,6	2.282,7	8.745,6	8.057,9	4.203,6	3.871,0

NOTA: n.d. Não está disponível na publicação.

FONTE: Adaptado de FAO (2009)

Ao analisar a Tabela 1 é possível observar que o estoque de carbono na serapilheira e madeira morta diminuiu em todos os biomas durante o período analisado. A diminuição mais significativa em termos relativos ocorreu nos biomas Cerrado (23%) e Pantanal (19%), considerando a serapilheira e necromassa lenhosa (madeira morta), e houve aumento do estoque de carbono na necromassa de plantações florestais (60%).

Possivelmente devido à utilização de fatores de relação entre biomassa e necromassa, tanto a serapilheira quanto a madeira morta apresentaram percentuais de alteração muito semelhantes aos relacionados à mudança na cobertura florestal para o mesmo período. Contudo, é importante enfatizar que após uma ação de desmatamento nem toda a necromassa (principalmente madeira morta) é retirada do ambiente florestal em um espaço curto de tempo, podendo ocorrer inclusive um aumento da necromassa, quando pilhas de necromassa lenhosa são deixadas na área desmatada e se decompõem lentamente.

Segundo a FAO (2009), a maior parte das informações sobre os recursos florestais do país está dispersa, produzida em nível subnacional, e não organizada de forma centralizada por uma única instituição. Contudo, o Serviço Florestal Brasileiro está desenvolvendo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), com o objetivo de coletar, produzir, organizar, processar e disseminar dados, informações e conhecimento sobre florestas do país (FAO, 2009).

Na plataforma virtual do SNIF, o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) informa que, ao longo de sua existência já reuniu diversas informações sobre temas florestais e que está construindo uma base de dados que permitirá consultas mais avançadas e análises “*on line*” dos dados. No site já estão disponíveis valores por bioma de biomassa e carbono, incluindo da madeira morta. Foi realizado contato por e-mail com a Ouvidoria do SFB, que informou que devido ao aumento do número de publicações no banco de dados sobre as variáveis citadas e à maior acurácia no cálculo das áreas de florestas, os dados de volume, biomassa e carbono apresentam-se em constante atualização. Os valores disponíveis no site são referentes ao ano de 2013 e serão publicados no FRA 2015.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

Este estudo foi realizado na Estação Experimental Professor Doutor Rudi Arno Seitz, pertencente à Universidade Federal do Paraná. A estação está localizada no município de São João do Triunfo, no sudeste do Paraná, cujas coordenadas UTM são X: 5836 a 5844 e Y: 7158, distando cerca de 130 km de Curitiba (Figura 3). A altitude do local é de 780 m acima do nível do mar (SCHAAF *et al.*, 2000).

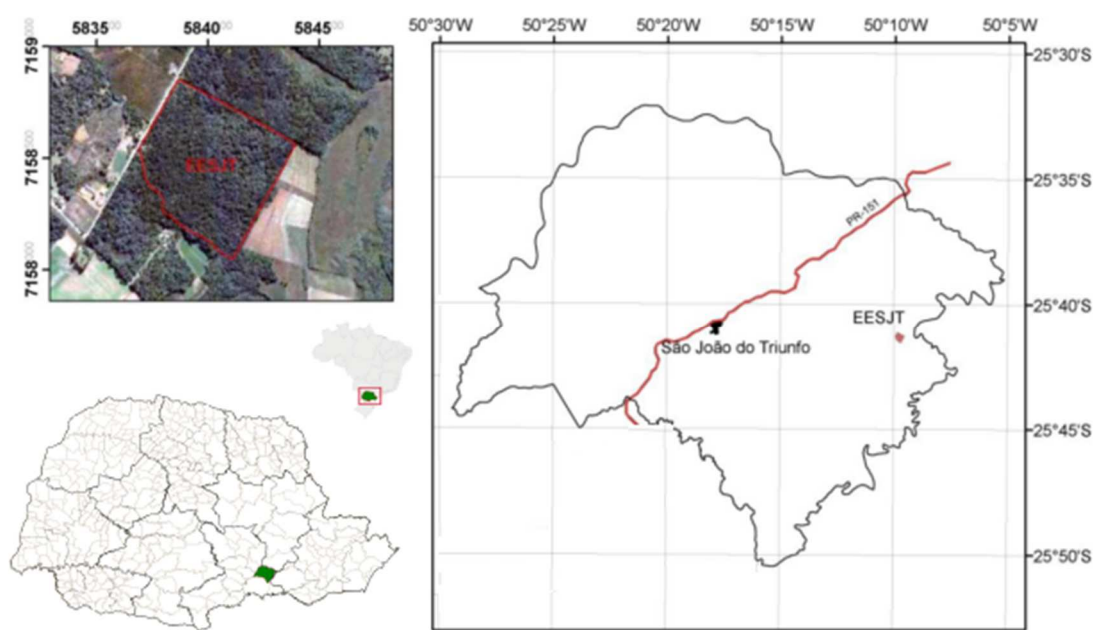


FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO – PR

FONTE: Adaptado de Cassol (2013) e Dalla Lana (2013)

A Estação Experimental foi incorporada à Universidade Federal do Paraná no ano de 1972, dando continuidade a um programa de estabelecimento de uma rede de estações para o apoio ao ensino e à pesquisa florestal. A área total da

estação é de 31,50 hectares, tendo sido uma antiga propriedade rural de colonos poloneses (PELD SÍTIO 9, 2011).

4.1.2 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

A temperatura média no trimestre mais frio (junho, julho e agosto) fica em torno de 13 a 14°C, e coincide com o trimestre mais seco, com precipitação de 250 a 350 mm; e no trimestre mais quente (dezembro, janeiro e fevereiro) a temperatura média fica em cerca de 23 a 24°C e precipitação em torno de 400 a 500 mm, sendo a precipitação média anual de 1400 a 1600 mm (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

4.1.3 Vegetação

Segundo Pizzato (1999), sobre a mesma área de estudo, a araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) compartilha o mesmo hábitat que a imbuia (*Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso), que constitui o estágio mais avançado da Floresta Ombrófila Mista. Entre os elementos componentes dos estratos inferiores destacam-se o cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), as canelas (*Nectandra* spp., *Ocotea* spp.), mirtáceas (*Eugenia* spp., *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg, *Myrcia* spp.), a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), dentre outras.

Segundo Dalla Lana (2013), que realizou trabalho na mesma área deste estudo, as famílias Lauraceae e Myrtaceae apresentam maior riqueza e representatividade, bem como as espécies *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Nectandra grandiflora* Nees & Mart., *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. e *Matayba elaeagnoides* Radlk (DALLA LANA, 2013).

4.1.4 Parcelas

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de três parcelas permanentes pertencentes ao Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD) – Sítio 9 – ELFA (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração na Floresta com Araucária e suas Transições). Esse programa é vinculado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

As três parcelas do presente estudo são quadradas, com 10.000 m² de área cada (100 m x 100 m), e são anualmente monitoradas por meio de inventário florestal contínuo desde 1995. Essas parcelas foram divididas em subparcelas de 10 m x 10 m, com os limites marcados com canos de PVC, totalizando assim 300 subparcelas de 100 m².

Corte e Sanquetta (1996) classificaram a vegetação do fragmento em ambientes por meio da caracterização do dossel, a qual foi feita com base em fotografias aéreas de pequeno formato (35 mm), com a utilização de um avião ultraleve. Esses autores identificaram três ambientes conforme segue: Ambiente com predominância de espécies folhosas no dossel; Ambiente com predominância de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no dossel; Ambiente com dossel misto de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e espécies folhosas (Figura 4).

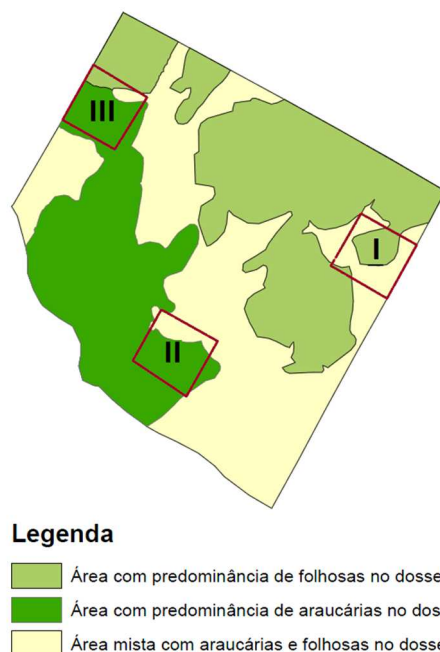


FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 FONTE: BIOFIX (2013)

De acordo com estudos realizados na área (DURIGAN, 1999; PIZATTO, 1999), a parcela com predominância de espécies folhosas no dossel (Parcela I – Figura 4) pode ser considerada como em estágio avançado de regeneração da floresta natural, apresentando grande semelhança com a floresta primária, principalmente, no que diz respeito à sua estrutura dimensional. A parcela com predominância de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no dossel (Parcela II – Figura 4) apresenta uma distância moderada entre o dossel e o primeiro estrato das espécies folhosas, e uma pequena variação em diâmetro, sem a presença de indivíduos com grandes diâmetros. Possivelmente, a vegetação dessa parcela tenha sofrido um processo de intervenção antrópica diferenciada, favorecendo de alguma forma a regeneração da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

A parcela com dossel misto (Parcela III – Figura 4) diferencia-se das demais por apresentar uma mescla de espécies folhosas e araucárias (DURIGAN, 1999; PIZATTO, 1999). Segundo Schaaf *et al.* (2000), essa parcela, assim como algumas outras parcelas localizadas próximas da estrada de acesso, sofreram um incêndio ocorrido no ano de 1982. Devido à ocorrência desse distúrbio, foram criadas condições para o surgimento de elevado número de espécies características de uma fase inicial na reconstituição da floresta primária (PIZATTO, 1999).

Barreto (2015) reportou algumas variáveis dendrométricas do fragmento analisado (Tabela 2).

TABELA 2 - ASPECTOS DENDROMÉTRICOS PARA UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR PARA O ANO DE 2013

Parcela	nº de ind.	dap médio	dap dom	H média	H dom	Volume	Área basal	nº de espécies
	ind.ha ⁻¹	cm	cm	m	m	m ³ .ha ⁻¹	m ² .ha ⁻¹	ind.
I	790	24,3	57,6	18,0	24,2	758,5	47,2	56
II	757	21,2	44,6	17,4	21,7	529,7	41,9	53
III	654	21,2	44,6	17,4	21,7	436,8	34,9	53
Fragmento	734	22,3	52,6	17,5	23,0	574,0	41,3	80

NOTA: *dap* médio = diâmetro médio; *dap* dom = diâmetro dominante; H média = altura média; H dom = altura dominante; *dap* = diâmetro à altura do peito; ind. = indivíduos.

FONTE: Adaptado de Barreto (2015)

4.1.5 Solo

Durigan (1999) apresenta uma classificação dos solos das parcelas utilizadas neste estudo. Contudo, a classificação é anterior as mudanças ocorridas no Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (EMBRAPA, 2009). De acordo com essa autora a parcela com predominância de folhosas no dossel (Parcela I) apresenta uma associação de Latossolo Vermelho-Escuro Álico Epidistrófico de textura muito argilosa com solo Podzólico Vermelho-Amarelo Tb câmbico de textura argilosa/muito argilosa e solo Podzólico Vermelho-Amarelo Ta textura média/argilosa ambos Álico com horizonte A moderado e relevo ondulado.

Na parcela I os Podzólicos estão na posição mais elevada da paisagem, enquanto os Latossolos ocupam as cotas mais baixas. A parcela com predominância de araucárias no dossel (Parcela II) é constituída por Cambissolos, com baixo grau de desenvolvimento de estrutura, menor profundidade e elevada capacidade de troca de cátions, em função de serem menos intemperizados. Apresentam-se predominantemente pouco profundos, com caráter álico em ambos os horizontes, apresentando textura argilosa e possuem horizonte A moderado com espessura média de 48 cm (DURIGAN, 1999).

A parcela localizada em área mista, com araucárias e folhosas no dossel (Parcela III) é composta por Solos Litólicos. Possuem horizonte A moderado com

espessura média de 37 cm, assente sobre horizonte C (contato litóide), o qual apresenta consistência branda, podendo ser penetrado pelas raízes. Apresentam alta saturação em alumínio trocável (álícos), textura muito argilosa e relevo ondulado. A pequena profundidade reflete na capacidade de armazenamento de água, bem como em pequeno volume a ser explorado pelas raízes (DURIGAN, 1999).

4.2 COMPARTIMENTOS DO ESTOQUE DE CARBONO E TERMINOLOGIA ADOTADA

O estoque total de carbono (C_T) foi obtido pela soma dos estoques de carbono total da biomassa (C_{BT}), da necromassa (C_{NT}) e do solo (C_{ST}) (Figura 5). O estoque de carbono total da biomassa é um resultado do somatório do estoque de carbono da biomassa acima do solo (C_{BA}), contemplando os indivíduos arbóreos acima de 10 cm de *dap* e da biomassa de raízes (C_{BR}).

O estoque de carbono da necromassa inclui o estoque de carbono da necromassa lenhosa grossa (C_{NLG}), contemplando o material lenhoso disposto no piso florestal acima de 10 cm de diâmetro; da necromassa lenhosa fina (C_{NLF}), referente ao material lenhoso no piso florestal de 2 a 10 cm de diâmetro; e da serapilheira acumulada (C_{SA}), também chamada de necromassa não lenhosa, contemplando materiais mais finos como folhas, material reprodutivo, casca, ramos de araucária, e ramos e galhos de até 2 cm de diâmetro. Para a estimativa do estoque de carbono total do solo (C_{ST}) foram somados os estoques das camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade (Figura 5).

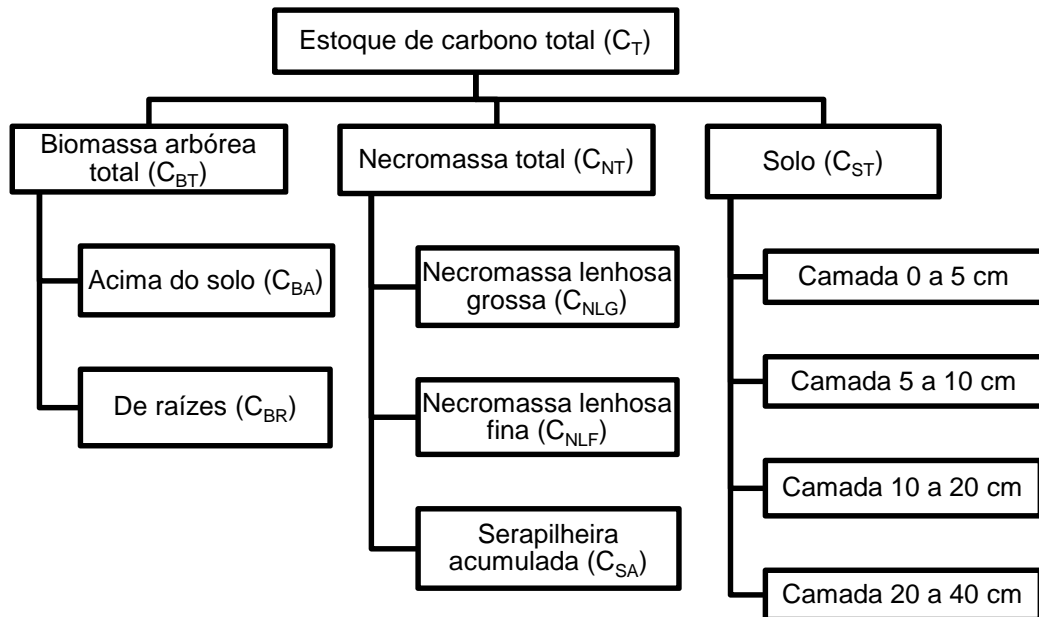


FIGURA 5 – COMPARTIMENTOS DO ESTOQUE DE CARBONO CONSIDERADOS PARA O FRAGMENTO EM ESTUDO
 FONTE: O Autor (2015)

4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

4.3.1 Estoque de carbono na biomassa acima do solo e na biomassa de raízes

A instalação das parcelas permanentes ocorreu em 1995. As parcelas foram mensuradas anualmente no período de inverno, sendo mensurada a circunferência à altura do peito (*cap* - 1,3 m de altura do solo). Todos os indivíduos com *cap* $\geq 31,4$ cm, ou seja, diâmetro à altura do peito (*dap*) ≥ 10 cm foram mensurados. Todas as árvores foram posicionadas em croqui e a cada ano as árvores são remedidas com a contabilização das ingressas (que alcançam diâmetro maior que 10 cm) e as mortas.

A estimativa da biomassa acima do solo foi realizada por meio de equação alométrica, utilizando-se o inventário do ano de 2013 como base. Com o uso de uma

equação hipsométrica ajustada por Pizatto (1999) a partir de dados reais também tomados a campo na mesma área deste estudo, estimou-se a altura de todas as árvores das parcelas (Equação 2).

$$h = \frac{\beta_0 + \beta_1(dap) + \beta_2(dap^2)}{dap} \quad (2)$$

Em que:

h = altura total (m);

dap = diâmetro à altura do peito (cm);

β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes.

Os coeficientes β_0 e β_1 e β_2 são distintos para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze ($\beta_0 = -56,243247$; $\beta_1 = 17,575912$ e $\beta_2 = 0,112721$) e para as espécies folhosas ($\beta_0 = -79,852966$; $\beta_1 = 20,005797$ e $\beta_2 = 0,113487$). As equações utilizadas foram as que apresentaram melhores estatísticas de ajuste no estudo desenvolvido por Pizatto (1999) (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) = 0,7044; Erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) = 14,17; Folhosas - R^2_{aj} = 0,6401; $S_{yx}\%$ = 16,21).

A partir das alturas obtidas, foi realizada a estimativa da biomassa acima do solo utilizando a equação (3) que foi ajustada por Ratuchne (2010).

$$bsa = -3,025.dap + 0,425.dap^2 + 0,006(dap^2 . h) \quad (3)$$

Em que:

bsa = biomassa seca acima do solo (kg);

dap = diâmetro à altura do peito (cm);

h = altura total (m).

Essa equação foi utilizada por ter sido ajustada com dados de parcelas permanentes em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de General

Carneiro – Paraná e por apresentar estatísticas de ajuste razoáveis (Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) = 0,955; Erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) = 47,24).

O fragmento analisado por Ratuchne (2010) possui 4.210,75 hectares e encontrava-se bastante antropizado e em diversos estágios sucessionais. A base de dados do ajuste das equações para estimativas da biomassa arbórea foi obtida do trabalho de Watzlawick (2003). Os dados correspondem às medidas dendrométricas do *dap*, altura total, altura do ponto de inversão morfológico e à quantificação da biomassa aérea de 153 árvores pertencentes a 38 espécies de 19 famílias (RATUCHNE, 2010). Na base de dados considerada, o *dap* mínimo observado variou de 5,41 a 52,68 cm e o *dap* máximo variou de 8,59 a 85,94 cm. A altura total mínima variou de 6,40 a 17,00 m e a altura total máxima variou de 7,20 a 26,20 m.

Para o cálculo do estoque de carbono, foram aplicados os teores de carbono calculados por Mognon *et al.* (2013) para grupos de espécies distintos. Para realizar a determinação dos teores médios ponderados de carbono para os diferentes grupos de espécies, esses autores utilizaram os dados brutos do trabalho de Watzlawick *et al.* (2004), que expressam os teores de carbono em diferentes compartimentos para diversas espécies de Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, no estado do Paraná.

Os grupos de espécies considerados por Mognon *et al.* (2013) foram: Grupo das araucárias – constituído por indivíduos da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (teor de carbono de 426 g.kg⁻¹); Grupo das canelas - constituído por indivíduos das espécies pertencentes à família das Lauráceas (teor de carbono de 407 g.kg⁻¹); e Grupo das espécies de madeira branca – representado pelas demais espécies arbóreas (teor de carbono de 411 g.kg⁻¹).

A partir da multiplicação da biomassa acima do solo estimada pelo teor médio de carbono correspondente foi obtida a estimativa do estoque de carbono na biomassa arbórea.

Para a estimativa da biomassa de raízes foi utilizada a equação (4) ajustada por Nogueira Júnior *et al.* (2014). A equação escolhida foi ajustada para floresta de restauração da Mata Atlântica, devido à ausência de equação ajustada para floresta nativa. A equação resultou em estimativas compatíveis com os resultados obtidos para Floresta Ombrófila Mista/Mata Atlântica de relação entre biomassa acima do solo e biomassa de raízes. As estatísticas de ajuste da equação obtidas por

Nogueira Júnior *et al.* (2014) foram AIC (*Akaike Information Criterion*) = 290,9; Erro padrão da estimativa (S_{xy}) = 0,21).

O teor de carbono aplicado para o cálculo do estoque de carbono nas raízes foi o valor médio obtido do trabalho desenvolvido por Watzlawick (2003) em Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro/PR (390,9 g.kg⁻¹), no qual foram consideradas as raízes acima de 1 cm de diâmetro encontradas nas unidades amostrais (trincheiras) de 1 m x 1 m e 0,50 m de profundidade.

$$\log(bss) = -2,960 + 1,072 \log(dap^2) \quad (4)$$

Em que:

bss = biomassa seca de raízes (kg);

dap = diâmetro à altura do peito (cm).

O estoque de carbono da biomassa total (C_{BT}) resultou do somatório dos estoques de carbono na biomassa acima do solo (C_{BA}) e biomassa de raízes (C_{BS}).

4.3.2 Estoque de carbono no solo

Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m de profundidade nas três parcelas de estudo (Figura 6a), retiradas em 5 pontos de cada parcela, distribuídos nas quatro extremidades e no centro de cada uma das parcelas (Figura 6b).

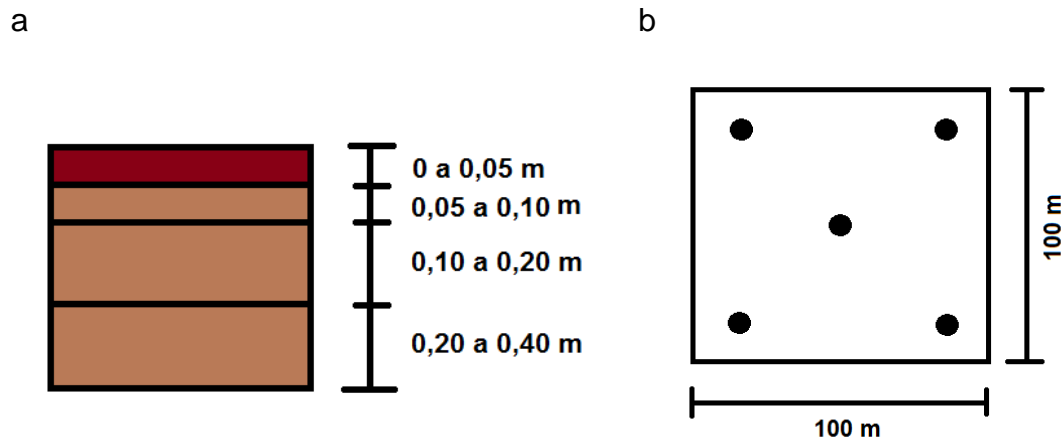


FIGURA 6 – A: CAMADAS DE AMOSTRAGEM NO PERFIL DO SOLO; B: DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NA PARCELA
 FONTE: O Autor (2015)

Para a determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Os anéis de bordas cortantes foram introduzidos no perfil de solo utilizando-se uma marreta (Figuras 7a e 7b) em cada camada amostrada. Após a retirada do anel, a terra restante foi removida cuidadosamente com auxílio de um facão para que apenas o volume do anel ficasse preenchido com o solo (Figura 7c). Em laboratório os anéis contendo as amostras de solo foram acondicionados em estufa e secos a 105°C por 48 horas. Após a secagem, os anéis foram dispostos em um dessecador para que esfriassem evitando o ganho de umidade sendo então pesados em balança analítica. Obteve-se a densidade do solo com a aplicação da equação (5) (EMBRAPA, 1997).

$$Ds = \frac{a}{b} \quad (5)$$

Em que:

Ds = densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);
 a = peso da amostra seca a 105°C (g);
 b = volume do anel ou cilindro (cm^3).

Nas mesmas profundidades foram coletadas amostras deformadas de solo para realização de análises do teor de carbono e análise granulométrica (Figura 7d).

As análises foram realizadas nos laboratórios de Física e de Fertilidade de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Para a análise granulométrica realizada no Laboratório de Física do Solo utilizou-se o método do densímetro.



FIGURA 7 – A E B: COLETA DE AMOSTRA INDEFORMADA DE SOLO NO ANEL VOLUMÉTRICO; C: AMOSTRA COLETADA NO ANEL VOLUMÉTRICO; D: COLETA DE AMOSTRA DEFORMADA PARA ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS
FONTE: O autor (2015)

Para o cálculo do estoque de carbono no solo foi utilizada a equação (6) adaptada de IPCC (2003).

$$C_s = TC.Ds.e.10 \quad (6)$$

Em que:

C_s = estoque de carbono no solo em determinada camada ($Mg.ha^{-1}$);

e = espessura da camada considerada (m);

D_s = densidade do solo na camada (g.cm^{-3});

TC = teor de carbono orgânico total na camada amostrada (g.kg^{-1}).

Não foi possível coletar amostras indeformadas de solo na camada de 0,20 a 0,40 m em dois pontos de amostragem da Parcela III, devido à presença de material mineral resistente.

4.3.3 Estoque de carbono na serapilheira acumulada

Primeiramente, no verão de 2013, para uma análise da variação espacial da serapilheira acumulada foram sorteadas dez subparcelas (10 m x 10 m) onde foi realizada a coleta de amostras de serapilheira sobre o solo mineral. Realizaram-se quatro coletas em cada subparcela, totalizando 120 amostras. Neste trabalho foi considerado como serapilheira o material presente sobre o solo composto predominantemente por folhas, material reprodutivo, casca, ramos de araucária, e ramos de até 2 cm de diâmetro (FONSECA *et al.*, 2011; PIETRO-SOUZA *et al.*, 2012). Foi utilizado um paquímetro para verificar se o material lenhoso enquadrava-se na classificação diamétrica adotada.

Para a realização das coletas adotou-se o método descrito por Pearson, Brown e Ravindranath (2005), que consiste na utilização de micro parcelas temporárias aleatórias demarcadas com um molde vazado de dimensões conhecidas (gabarito), confeccionado em madeira, sendo todo material localizado dentro do molde pesado no campo com auxílio de uma balança portátil (Figura 8a), sendo descontado o valor médio do peso dos sacos utilizados na coleta. As dimensões adotadas para o gabarito foram de 0,50 m x 0,50 m (PIRES *et al.*, 2006; VILLELA *et al.*, 2006) e utilizou-se facão e tesoura de poda para cortar as peças que atravessavam a borda do gabarito (Figura 8b).



FIGURA 8 – A: COLETA DA SERAPILHEIRA; B: DETALHE DO USO DO FACÃO PARA CORTAR O MATERIAL QUE ATRAVESSA A BORDA DO GABARITO; C: PESAGEM DA SUBAMOSTRA
 FONTE: O autor (2015)

Subamostras de aproximadamente 200 gramas foram retiradas e levadas para laboratório para a determinação do peso seco (Figura 8c). Essas subamostras foram secas em estufa de circulação e renovação do ar a 65°C até apresentaram peso constante sendo pesadas em balança analítica (0,01 g). Com os valores obtidos foi calculada a massa seca das amostras a partir da equação (7) de acordo com Pearson, Brown e Ravindranath (2005).

$$MSA = \frac{MS_{sub}}{MF_{sub}} \cdot MFA \quad (7)$$

Em que:

MSA = massa seca da amostra (Mg);

MS_{sub} = massa seca da subamostra;

MF_{sub} = massa fresca da subamostra;

MFA = massa fresca da amostra (Mg).

Em seguida para obter a massa em megagramas por hectare multiplicou-se a massa seca pelo fator de proporcionalidade a partir da equação (8) de acordo com Pearson, Brown e Ravindranath (2005).

$$FE = \frac{10000 m^2}{AP} \quad (8)$$

Em que:

FE = fator de proporcionalidade;

AP = área da parcela/gabarito (m^2).

Para obter a média do estoque de serapilheira acumulada do ano de 2013 realizaram-se mais duas coletas em períodos distintos (abril e setembro). Foram realizadas nove coletas por parcela, totalizando 27 coletas por período analisado. Para que fosse possível separar o material em frações, toda a serapilheira presente na microparcela era acondicionada em sacos plásticos e levada ao laboratório. As amostras passaram por uma pré-secagem ao ar livre e foram triadas nas seguintes frações, adaptadas de Dickow (2010):

- Folhas Recém Depositadas (FR): composta por folhas caídas recentemente das árvores, com poucos sinais de decomposição;
- Folhas em Decomposição (FD): composta por folhas mais velhas, já apresentando sinais de decomposição, porém ainda relativamente inteiras e distinguíveis;
- Fração Galhos (G): composta pelos ramos e galhos com até 2 cm de diâmetro;
- Fração Órgãos Reprodutivos (OR): composta por flores, frutos e sementes.
- Fração Ramos Aciculados (RA): ramos e acículas da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze;
- Fração Peneira (PE): todo material que passou em peneira de malha com dimensão de 10 mm.

Foram determinados os teores de carbono das diferentes frações da serapilheira acumulada. Para o cálculo do estoque de carbono na serapilheira acumulada para cada fração utilizou-se a equação (9).

$$C_{SA} = \frac{MSA \cdot TC}{1000} \quad (9)$$

Em que:

C_{SA} = estoque de carbono na serapilheira acumulada ($Mg \cdot ha^{-1}$);

MSA = massa seca da fração da serapilheira acumulada ($Mg \cdot ha^{-1}$);

TC = teor de carbono total da fração da serapilheira acumulada ($g \cdot kg^{-1}$).

Obteve-se o estoque de carbono da serapilheira acumulada pela soma dos estoques das frações.

4.3.4 Estoque de carbono na necromassa lenhosa fina

Em cada uma das três parcelas foram sorteadas dez subparcelas (10 m x 10 m) onde foi realizada a coleta de amostras de necromassa lenhosa fina. Realizaram-se quatro coletas em cada subparcela, totalizando 120 amostras. Neste trabalho foi considerado como material lenhoso fino os ramos e galhos com 2 a 10 cm de diâmetro. Foi utilizado um paquímetro para verificar se o material enquadrava-se na classificação adotada (Figuras 9a e 9b).

Para a realização das coletas também foram utilizadas micro parcelas temporárias aleatórias demarcadas com um molde vazado de dimensões conhecidas (gabarito), confeccionado em PVC, sendo que todo o material localizado dentro do molde foi pesado no campo com auxílio de uma balança portátil. As dimensões adotadas para o gabarito foram de 1,00 m x 1,00 m, seguindo a recomendação de Harmon e Sexton (1996) e utilizou-se tesoura de poda para cortar as peças que atravessavam a borda do gabarito.

Subamostras de aproximadamente 200 gramas foram retiradas em campo e levadas para laboratório para determinação do peso seco (Figuras 9c e 9d). As

subamostras foram secas em estufa de circulação e renovação do ar a 65°C até apresentaram peso constante e foram pesadas em balança analítica (0,01 g). Com os valores obtidos foi calculada a massa seca das amostras (Equação 7). Em seguida para obter a massa em megagramas por hectare multiplicou-se a massa seca pelo fator de proporcionalidade obtido a partir da equação (8).



FIGURA 9 – A: COLETA DE NECROMASSA LENHOSA FINA, B: DETALHE DO USO DE PAQUÍMETRO PARA VERIFICAR O DIÂMETRO DAS PEÇAS; C: DETALHE DE AMOSTRA COLETADA; D: PESAGEM DA SUBAMOSTRA
FONTE: O autor (2015)

Foi determinado o teor de carbono nas subamostras de necromassa lenhosa fina coletadas. Para o cálculo do estoque de carbono na necromassa lenhosa fina utilizou-se a equação (10).

$$C_{RLF} = \frac{MSA.TC}{1000} \quad (10)$$

Em que:

C_{RLF} = estoque de carbono na necromassa lenhosa fina ($Mg.ha^{-1}$);

MSA = massa seca da necromassa lenhosa fina na unidade amostral ($Mg.ha^{-1}$);

TC = teor de carbono da subamostra ($g.kg^{-1}$).

4.3.5 Estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa

Neste trabalho considerou-se como necromassa lenhosa grossa todo o material lenhoso caído no piso florestal com mais de 10 cm de diâmetro. Foi utilizado o método da linha interceptadora, desenvolvido por Warren e Olsen (1964) e adaptado por Van Wagner (1968). O método consiste em dispor uma linha de tamanho pré-determinado no piso florestal e medir o diâmetro de cada peça de material lenhoso que cruzar a linha (considerando o tamanho mínimo de material incluído na pesquisa). O diâmetro mínimo de enquadramento foi considerado no ponto de interseção da linha.

Foram alocadas duas linhas de 100 metros de comprimento em cada parcela, divididas em sublinhas de 10 m de comprimento, totalizando 20 sublinhas por parcela. As linhas foram dispostas junto ao limite das subparcelas e distanciaram-se 40 metros entre si (Figuras 10, 11a e 11b).

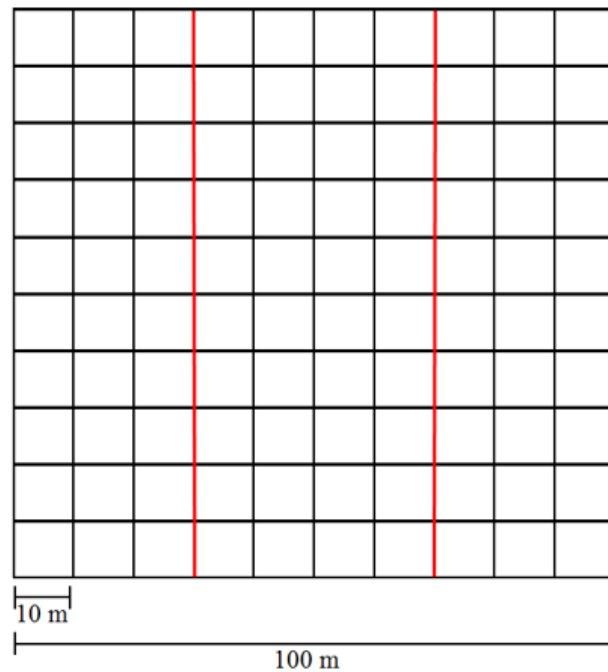


FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS LINHAS DE AMOSTRAGEM DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA NA PARCELA
FONTE: O autor (2015)

O diâmetro das peças foi registrado com o auxílio de uma suta, devido a dificuldade de realizar a medição com fita métrica em árvores no solo. Também foi registrado o nível de decomposição das peças segundo classificação de Pearson, Brown e Ravindranath (2005) coletando-se amostras (discos) em todos os níveis de decomposição (Figuras 11c e 11d).



FIGURA 11 - A: DISPOSIÇÃO DA LINHA INTERCEPTADORA; B: AMOSTRAGEM EM LINHA; C: DETALHE DA COLETA DE AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE; D: DETALHE DE AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE
 FONTE: O autor (2015)

No método proposto por Pearson, Brown e Ravindranath (2005) cada peça deve ser golpeada com um facão. Se a lâmina do facão não afundar na peça ela é enquadrada na Classe 1 (sólida); se a lâmina afundar parcialmente na peça e há alguma perda de material é enquadrada na Classe 2 (intermediária); e se a lâmina afundar na peça, ocorrer maior perda de material e a peça estiver quebradiça ela é enquadrada na Classe 3 (altamente decomposta) (PEARSON; BROWN; RAVINDRANATH, 2005).

A determinação da densidade básica da madeira seguiu o método descrito por Vital (1984). Nesse método o volume da madeira (corpo-de-prova) é obtido pelo método do empuxo. Os corpos-de-prova são inicialmente saturados em água, e posteriormente, são submersos individualmente em um béquer com água sobre uma

balança, sendo o peso resultante equivalente ao volume em cm^3 (Figura 12). Os corpos-de-prova são secos em estufa ($103\text{ }^\circ\text{C}$) até atingirem peso constante. Após a secagem, os corpos-de-prova são pesados para a determinação do peso seco da madeira. A densidade básica da madeira morta ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) foi obtida pela divisão da massa (g) pelo volume (cm^3) dos corpos-de-prova.

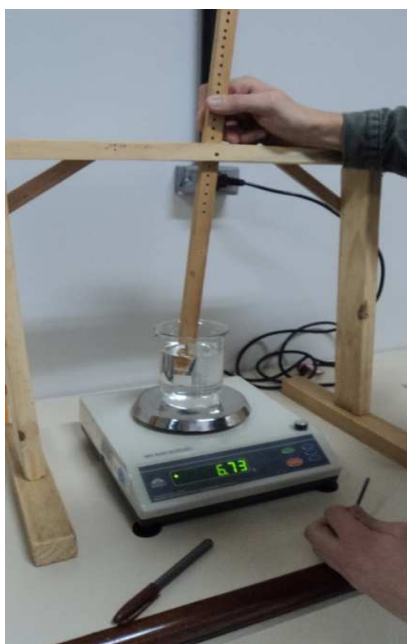


FIGURA 12 - OBTENÇÃO DO VOLUME DOS CORPOS-DE-PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA
FONTE: O autor (2015)

Considerando o diâmetro das peças e o comprimento da linha estimou-se o volume de necromassa lenhosa grossa pela equação (1), de Van Wagner (1968), apresentada na Revisão de Literatura. O volume de necromassa lenhosa grossa obtido para cada classe de decomposição foi multiplicado pela densidade média da classe para a obtenção da massa seca em megagramas por hectare.

Para o cálculo do estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa em cada unidade amostral (linha) para cada classe de decomposição utilizou-se a equação (11).

$$C_{RLG} = \frac{MSA.TC}{1000} \quad (11)$$

Em que:

C_{RLG} = estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa para cada classe de decomposição ($Mg.ha^{-1}$);

MSA = massa seca de necromassa lenhosa grossa da classe de decomposição ($Mg.ha^{-1}$);

TC = teor de carbono orgânico total da classe ($g.kg^{-1}$).

4.3.6 Produção de serapilheira

Foram utilizados 27 coletores de serapilheira na área, sendo 09 por parcela. O coletor foi construído com uma moldura circular de mangueira que perfazia uma área de 1 m², sendo usada uma tela de "nylon" com malha de 2 mm, presa a moldura formando um saco cônico (Figura 13a). Cada coletor estava apoiado por 4 canos de PVC cravados no chão. A moldura ficou a aproximadamente 1,5 m do solo. O saco coletor era amarrado com uma corda fina, sendo que no momento da coleta o material era retirado pela parte superior e inferior do coletor (Figura 13b e 13c). Os coletores foram instalados no início do verão em 2012 e as coletas foram realizadas ao final de cada estação do ano, e em 2013 as coletas passaram a ser realizadas mensalmente.

O material foi seco previamente ao ar livre ou em estufa de circulação forçada a baixas temperaturas (40°C), com o objetivo de preservar a aparência do material. Posteriormente, as amostras foram separadas nas seguintes frações: folhas, ramos com até 2 cm de diâmetro, material reprodutivo (flores, frutos, sementes), ramos aciculados (ramos e acículas de araucária) e miscelânea (material particulado e não identificado), conforme pode ser observado na Figura 13d. A fração folhas do ano de 2013 foi então separada por espécie, sendo que em alguns casos a identificação ficou limitada ao nível de gênero. Folhas em estado avançado de decomposição foram classificadas como "não identificáveis". As frações foram secas em estufa a

uma temperatura de 65°C até atingirem peso constante e foram pesadas em balança analítica (0,01 g). O teor de carbono foi analisado apenas nas frações da serapilheira coletada no ano de 2012. O teor de carbono foi analisado para a fração folhas como um todo, não havendo separação por espécie.



FIGURA 13 – A: COLETOR DE SERAPILHEIRA NO CAMPO; B: DETALHE DA COLETA DE SERAPILHEIRA; C: DETALHE DA COLETA; D: AMOSTRA DE SERAPILHEIRA SEPARADA EM FRAÇÕES NO LABORATÓRIO
FONTE: O autor (2015)

O cálculo do estoque de carbono na serapilheira produzida foi realizado multiplicando a massa seca ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de cada fração pelo seu respectivo teor de carbono ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

4.3.7 Decomposição da serapilheira

Segundo Olson (1963), quando o ecossistema está em condição de equilíbrio, a taxa de decomposição pode ser estimada por meio da razão entre a quantidade de serapilheira produzida e a acumulada, não apresentando, esta última, variações significativas em sua quantidade absoluta.

Sendo assim, para estimar a decomposição do material acumulado sobre o solo, foi utilizada a equação (12) desenvolvida por Olson (1963), admitindo-se situação de equilíbrio.

$$k = \frac{I}{X} \quad (12)$$

Em que:

K = coeficiente de decomposição;

I = quantidade de serapilheira produzida anualmente em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;

X = quantidade de serapilheira acumulada em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

O tempo médio de renovação da quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo ($1/k$) e o tempo necessário para o desaparecimento de 50% ($T_{0,5}$) e 95% ($T_{0,05}$) da serapilheira foram calculados segundo a metodologia de Shanks e Olson (1961), citados por Vital *et al.* (2004), utilizando as equações (13) e (14).

$$T_{0,5} = \frac{-\ln(0,5)}{k} \quad (13)$$

$$T_{0,05} = \frac{3}{k} \quad (14)$$

Em que:

$T_{0,5}$ = tempo necessário para a decomposição de 50% da serapilheira;

$T_{0,05}$ = tempo necessário para a decomposição de 95% da serapilheira;
 K = coeficiente de decomposição.

4.3.8 Determinação do teor de carbono

A determinação dos teores de carbono do solo, da necromassa lenhosa e da serapilheira produzida e acumulada foi realizada no Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa (Biofix) da UFPR.

Para a determinação do teor de carbono nas frações da serapilheira produzida as amostras foram agrupadas em amostras compostas, sendo que cada três amostras simples formaram uma amostra composta.

As amostras foram primeiramente fragmentadas com auxílio de facão e tesoura de poda e trituradas em moinho de facas tipo *Willey* e *Croton* com peneira de mesh 20 e efetuada a análise pelo método de combustão direta, empregando-se o analisador elementar da marca LECO modelo C-144.

Nesse método, a amostra é colocada em um ambiente de oxigênio puro com temperatura regulada tipicamente em 1.350°C, sendo submetida à combustão completa, liberando o carbono como dióxido de carbono, com a medição realizada por sensores de infravermelho. O aparelho converte o resultado em porcentagem, usando uma equação predefinida no *software* que leva em conta o peso da amostra, a calibração e valor de umidade conhecida (LECO, 2008).

O teor médio ponderado das frações da serapilheira foi calculado em função dos valores percentuais de contribuição de cada fração. Segundo Mognon *et al.* (2013) a utilização da média ponderada para a determinação dos teores de carbono é indicada quando se têm diferenças percentuais entre os compartimentos/frações estudados, ou seja, compartimentos que apresentem uma maior participação em porcentagem da massa total devem participar proporcionalmente na composição do teor médio de carbono (Equação 15).

$$\overline{TC}_p = \frac{M_{F1}.TC_{F1} + M_{F2}.TC_{F2} + M_{F3}.TC_{F3} + M_{F4}.TC_{F4} + M_{F5}.TC_{F5} + M_n.TC_n}{M_{F1} + M_{F2} + M_{F3} + M_{F4} + M_{F5} + M_n} \quad (15)$$

Em que:

\overline{TC}_p = Teor médio ponderado de carbono ($g.kg^{-1}$);

$M_{F1}, M_{F2}, M_{F3}, M_{F4}, M_{F5}, M_n$ = massa seca de cada uma das frações da serapilheira (folhas, casca, galhos, etc.);

$TC_{F1}, TC_{F2}, TC_{F3}, TC_{F4}, TC_{F5}, TC_n$ = teor de carbono das frações da serapilheira ($g.kg^{-1}$).

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

4.4.1 Solo

Primeiramente foram analisadas as estatísticas descritivas dos dados e, para verificar a existência de diferenças significativas na densidade, teor e estoque de carbono entre as camadas, foi empregada análise de variância (ANOVA). Foram consideradas como tratamentos as camadas de solo amostradas (0 - 0,05 m; 0,05 – 0,10 m; 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m).

O teste de Bartlett foi utilizado para avaliar a homogeneidade das variâncias, sendo os dados transformados quando necessário. Quando algum fator de estudo demonstrou-se significativo ($p < 0,05$) na análise de variância, seus efeitos foram analisados por meio de testes de comparação de médias de Tukey e Scott-Knott. O teste de Scott-Knott foi preferencialmente utilizado por proporcionar uma melhor distinção das diferenças entre os tratamentos, evitando a sobreposição de letras. Contudo, em casos nos quais os tratamentos não possuíam o mesmo número de repetições optou-se pelo uso do teste de Tukey. Devido à presença de material mineral resistente, não foi possível coletar amostras indeformadas de solo na camada de 0,20 a 0,40 m em dois pontos de amostragem da Parcela III, o que

resultou em número inferior de repetições ao analisar a diferença da densidade e do estoque de carbono do solo entre as camadas.

4.4.2 Serapilheira acumulada

Foram analisadas as estatísticas descritivas dos dados e o erro absoluto a partir de uma intensidade amostral pré-fixada. Uma análise de variância (ANOVA) foi empregada para verificar a existência de diferenças entre os teores de carbono das frações da serapilheira. As frações da serapilheira acumulada foram consideradas como os tratamentos. A homogeneidade das variâncias foi testada utilizando o teste de Bartlett; os dados foram transformados quando necessário. Quando algum fator de estudo demonstrou-se significativo ($p < 0,05$) seus efeitos foram analisados por meio de teste de comparação de médias de Scott-Knott. O teste de Scott-Knott foi utilizado por proporcionar uma melhor distinção das diferenças entre os tratamentos, evitando a sobreposição de letras.

Na análise de variância não foi considerada a fração intitulada como “peneira”, pois as amostras da referida fração apresentaram variação no teor de carbono mais elevada em comparação as demais, influenciando a homogeneidade das variâncias. A variação nos resultados de teor de carbono dessa fração se deve possivelmente a um maior ou menor grau de contaminação por solo, ocorrido no momento da coleta.

Uma análise de variância também foi empregada para verificar a existência de diferenças na massa e no estoque de carbono nas frações da serapilheira entre os períodos de coleta (abril e setembro de 2013). A homogeneidade dos dados foi testada empregando-se o teste de Hartley, uma vez que esse teste pode ser aplicado em casos onde há apenas dois tratamentos.

Avaliou-se a correlação entre o acúmulo de serapilheira e o teor e estoque de carbono no solo aplicando-se o coeficiente de correlação de Pearson (r). Foram também avaliadas as distribuições de frequência dos estoques de serapilheira mediante análise gráfica. O padrão espacial do estoque de serapilheira foi analisado por meio do Índice de Morisita (MORISITA, 1962) segundo a equação (16).

$$I_{\delta} = q \left(\frac{\sum_{i=1}^q X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^q X_i)^2}{q}}{\sum_{i=1}^q X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^q X_i)^2}{q}} \right) \quad (16)$$

Em que:

I_{δ} = Índice de Dispersão de Morisita;

q = Número total de unidades amostrais;

$\sum_{i=1}^q X_i$ = Soma dos estoques de serapilheira em todas as unidades amostrais analisadas;

$\sum_{i=1}^q X_i^2$ = Soma do quadrado dos estoques de serapilheira em todas as unidades amostrais analisadas.

Valores próximos a um indicam arranjo ao acaso (aleatório), valores superiores a um indicam disposição agregada e valores inferiores a um indicam uma distribuição uniforme (PRETZSCH, 2010).

4.4.3 Necromassa lenhosa

Inicialmente foram analisadas as estatísticas descritivas dos dados, incluindo o erro absoluto e relativo a partir de uma intensidade amostral pré-fixada. Foram também avaliadas as distribuições de frequência dos estoques mediante análise gráfica. O padrão espacial do estoques de necromassa lenhosa fina foi analisado por meio do Índice de Morisita (MORISITA, 1962).

Para verificar a existência de diferença significativa na densidade da madeira e no teor de carbono entre as classes de decomposição da necromassa lenhosa grossa aplicou-se análise de variância. As classes de decomposição da necromassa lenhosa foram consideradas como tratamentos. O teste de Bartlett foi utilizado para avaliar a homogeneidade das variâncias, sendo os dados transformados quando necessário. Quando algum fator de estudo demonstrou-se significativo ($p < 0,05$) aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey. O número de repetições não foi o mesmo entre as classes de decomposição (tratamentos), uma vez que

dependia do número de peças de necromassa lenhosa interceptado pelo método de coleta empregado.

4.4.4 Produção de serapilheira

Foram analisadas as estatísticas descritivas dos dados e para verificar a existência de diferenças significativas no teor de carbono entre as frações da serapilheira produzida foi empregada análise de variância (ANOVA). As frações da serapilheira produzida foram consideradas como os tratamentos. O teste de Bartlett foi utilizado para avaliar a homogeneidade das variâncias, sendo os dados transformados quando necessário. Quando algum fator de estudo demonstrou-se significativo ($p < 0,05$) na análise de variância empregou-se o teste de comparação de médias de Tukey.

O teste de Scott-Knott foi preferencialmente utilizado por proporcionar uma melhor distinção das diferenças entre os tratamentos, evitando a sobreposição de letras. Contudo, em casos nos quais os tratamentos não possuíam o mesmo número de repetições optou-se pelo uso do teste de Tukey. O número de repetições não foi o mesmo entre as frações (tratamentos), uma vez que para a fração “casca” optou-se por formar amostras compostas, devido ao reduzido volume de material para a realização da análise do teor de carbono.

Para avaliar a existência de diferenças estatísticas na produção de serapilheira entre as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) também foi empregada análise de variância, e quando algum fator de estudo demonstrou-se significativo ($p < 0,05$) empregou-se o teste de comparação de médias de Scott-Knott.

Também foi empregada análise de variância para verificar se havia diferença significativa na massa e no estoque de carbono da serapilheira produzida entre os anos avaliados (2012 e 2013) para cada estação do ano. A homogeneidade dos dados foi testada por meio do teste de Hartley, uma vez que pode ser aplicado em casos onde há apenas dois tratamentos.

Dados meteorológicos foram obtidos junto ao SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) referentes à Estação Meteorológica de Fernandes Pinheiro/PR, que fica a aproximadamente 40 km de São João do Triunfo. Para

verificar a existência de correlação entre as variáveis meteorológicas (radiação solar média, temperatura máxima média, temperatura mínima média, temperatura média, temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta, precipitação, velocidade do vento, umidade relativa média) e a produção de serapilheira aplicou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), e a sua significância foi testada pelo teste t a 5% de probabilidade.

De acordo com Andriotti (2003), o coeficiente de correlação de Pearson (r) que varia de -1 a +1, mede o grau da relação linear de duas variáveis, sendo zero representativo da ausência de correlação linear; até 0,3 indica fraca correlação; de 0,3 a 0,7 a correlação é moderada; e correlação forte para valores acima de 0,7.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO E NA BIOMASSA DE RAÍZES

A média da biomassa estocada acima do solo foi de 241,90 Mg.ha⁻¹ no ano avaliado (2013), com respectivo estoque de carbono de 101,06 Mg.ha⁻¹, o que corresponde a 41,78% da biomassa arbórea acima do solo. Watzlawick *et al.* (2012), em estudo realizado em Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, no Paraná, por meio de método destrutivo e utilizando apenas árvores acima de 10 cm de *dap*, obtiveram 210,46 Mg.ha⁻¹ de biomassa estocada acima do solo, sendo 89,48 Mg.ha⁻¹ de carbono orgânico.

O resultado de biomassa estocada acima do solo deste estudo se enquadra nos valores citados pelo IPCC (2006) para zona ecológica Subtropical Úmida (210 a 280 Mg.ha⁻¹) mas é um pouco superior àquela citada para zona ecológica Subtropical Montanhosa Úmida ou Seca (60 a 230 Mg.ha⁻¹).

Britez *et al.* (2006), a partir de dados da literatura, estimaram o estoque de carbono na biomassa acima do solo em Floresta Ombrófila Mista e obtiveram uma média de 97 Mg.ha⁻¹, variando de 29 a 176 Mg.C.ha⁻¹. Amaral *et al.* (2010) em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) localizada em General Carneiro/PR, estimaram a biomassa acima do solo em 115,19 Mg.ha⁻¹, com respectivo estoque de carbono de 47,91 Mg.ha⁻¹.

Em estudo conduzido por Watzlawick *et al.* (2002), em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios sucessionais, esses autores encontraram uma média de 69,37 Mg.ha⁻¹, 168,84 Mg.ha⁻¹ e 397,79 Mg.ha⁻¹ de biomassa nos estágios inicial, médio e avançado, respectivamente. Com relação ao estoque de carbono obtiveram 28,84 Mg.ha⁻¹, 70,23 Mg.ha⁻¹ e 165,02 Mg.ha⁻¹, respectivamente para os três estágios sucessionais citados.

Mognon *et al.* (2013), em Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro no Paraná, estimaram a biomassa arbórea acima do solo em 186,75 Mg.ha⁻¹, com estoque de carbono total de 77,53 Mg.ha⁻¹, sendo que a porção da vegetação analisada foi classificada como em estágio médio de sucessão. Alves *et al.* (2010)

estudaram a variação da biomassa ao longo de um gradiente altitudinal em área de Mata Atlântica em São Paulo, e para árvores acima de 10 cm de *dap*, o resultado encontrado foi de 262,7 Mg.ha⁻¹ em área de Floresta Ombrófila Densa Montana (500 a 1200 m acima do nível do mar), valor semelhante ao obtido neste estudo. A média do número de indivíduos arbóreos acima de 10 cm de diâmetro à altura do peito encontrada por Alves *et al.* (2010) foi de 589 indivíduos por hectare, enquanto no fragmento em estudo foram obtidos 734 indivíduos por hectare para o ano de 2013 (BARRETO, 2015).

Uma série de fatores pode ser responsável pelas diferenças observadas na biomassa entre os fragmentos, incluindo duração e intensidade da estação seca; disponibilidade de luz; diferenças nas características do solo (como disponibilidade de nutrientes, capacidade de retenção de água, textura do solo, etc.); diferenças nos distúrbios sofridos (taxas de mortalidade, tamanho de clareiras, etc.); diferenças na composição de espécies e regime hidrológico (VIEIRA *et al.*, 2004).

Vieira *et al.* (2011), estudando o mesmo gradiente altitudinal, estimaram o estoque de carbono na biomassa arbórea acima de 10 cm de diâmetro à altura do peito em 122,8 Mg.ha⁻¹ na área de Floresta Montana e 22,76 Mg.ha⁻¹ de carbono na biomassa de raízes.

Conforme pode ser observado na Figura 14a, o maior estoque de carbono na biomassa (acima do solo e de raízes) se concentra nas árvores com *dap* entre 30 a 50 cm. Contudo, o maior número de indivíduos está presente na classe de 10 a 30 cm de *dap* (Figura 14b), indicando uma distribuição diamétrica do tipo “J” invertido, característica de florestas naturais (WEBER; SANQUETTA; EISFELD, 2005). Sendo assim, apesar do maior número de indivíduos na classe de menor *dap*, a biomassa individual de árvores de maiores diâmetros apresenta uma elevada contribuição na estocagem de carbono no fragmento estudado.

Árvores com *dap* acima de 70 cm contribuíram com 23% do estoque de carbono na biomassa acima do solo, percentual inferior ao observado por Lu *et al.* (2010) em Floresta Tropical Estacional no Noroeste da China (46%). Chave *et al.* (2003) em Floresta Tropical no Panamá observaram que 32% da biomassa acima do solo estava concentrada nas árvores acima de 70 cm de diâmetro.

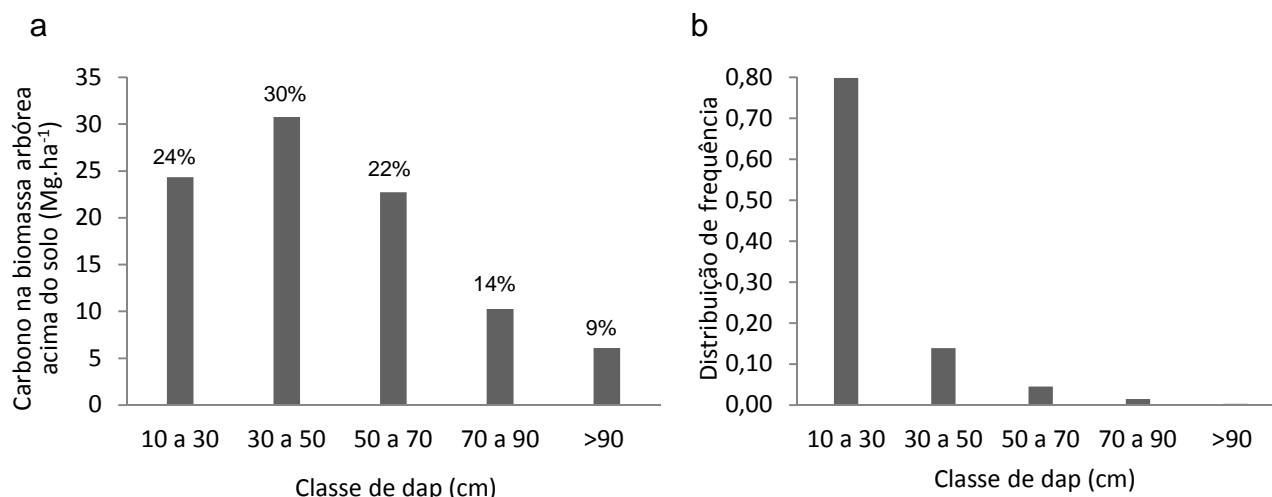


FIGURA 14 - A: ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO (Mg.ha⁻¹) POR CLASSE DIAMÉTRICA; E B: DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DIAMÉTRICA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 FONTE: O autor (2015)

Com relação à biomassa de raízes, obteve-se uma média de 46,04 Mg.ha⁻¹, com estoque de carbono de 17,96 Mg.ha⁻¹. Aplicando a equação desenvolvida por Cairns *et al.* (1997) para estimar a biomassa de raízes em florestas tropicais baseada apenas na biomassa arbórea acima do solo em Mg.ha⁻¹, o resultado encontrado foi de 54,34 Mg.ha⁻¹. Watzlawick *et al.* (2012) em Floresta Ombrófila Mista Montana encontraram 40,44 Mg.ha⁻¹ de biomassa e 14,69 Mg.ha⁻¹ de carbono no componente raiz. Watzlawick *et al.* (2002) em Floresta Ombrófila Mista obtiveram estoque de carbono orgânico médio nas raízes de 14,84 Mg.ha⁻¹, 15,76 Mg.ha⁻¹ e 13,61 Mg.ha⁻¹ respectivamente para floresta em estágio inicial, médio e avançado de regeneração.

O IPCC, em seu Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, apresenta uma tabela com valores de razão raiz:parte aérea, de acordo com o domínio climático e a zona ecológica. Considerando a floresta estudada na zona ecológica Subtropical Úmida (de acordo com a Classificação da FAO de 2001 disponível no guia do IPCC), o valor sugerido para florestas com biomassa acima do solo superior a 125 Mg.ha⁻¹ é de 0,24, podendo variar de 0,22 a 0,33 (IPCC, 2006). Entretanto, deve se considerar que para sistemas Subtropicais Montanhosos secos ou úmidos (altitudes de aproximadamente 800 a 1000 m), como é o caso da floresta em estudo, o IPCC informa que ainda não há valores de relação raiz:parte aérea

disponíveis. Os demais valores adotados pelo IPCC são em sua maioria oriundos do trabalho desenvolvido por Mokany, Raison e Prokushkin (2006).

A biomassa total (biomassa acima do solo e biomassa de raízes) entre as parcelas avaliadas variou de 228,47 Mg.ha⁻¹ a 349,41 Mg.ha⁻¹, e o estoque de carbono total (acima do solo e nas raízes) variou de 94,62 Mg.ha⁻¹ a 143,44 Mg.ha⁻¹. A diferença observada entre as parcelas se deve em grande parte pela presença de árvores com diâmetro à altura do peito acima de 100 cm na parcela com predominância de folhosas no dossel, que contribuíram com 23% da biomassa total (biomassa acima do solo e biomassa de raízes) da parcela, enquanto a parcela com menor contribuição em termos de biomassa e carbono (parcela mista, com folhosas e araucária no dossel) possui árvores com diâmetro à altura do peito máximo de 77 cm.

A heterogeneidade pedológica entre parcelas pode ter influenciado no estoque de biomassa obtido. A parcela com menor estoque de biomassa encontra-se em solo pouco profundo, com horizonte A moderado, de espessura média de 37 cm, assente sobre horizonte C (contato litóide), com consequente pequeno volume a ser explorado pelas raízes (DURIGAN, 1999). Essa característica também foi observada neste estudo no momento das coletas de solo. Em todas as trincheiras era possível observar o material mineral resistente, sendo que em duas delas ficou impossibilitada a coleta de amostras indeformadas de solo na camada de 0,20 a 0,40 m de profundidade. Em contrapartida, a parcela com o maior estoque de biomassa encontra-se em solo com A moderado, sem contato litóide subjacente, sendo a única parcela a não apresentar caráter álico no levantamento realizado no estudo desenvolvido por Durigan (1999).

Rolim *et al.* (2005) conduziram um estudo em Floresta Ombrófila Densa na Reserva do Vale do Rio Doce, em Linhares no estado do Espírito Santo, e observaram grande variação na biomassa entre parcelas atribuindo a variação à presença ou ausência de “árvores gigantes” (acima de 100 cm de *dap*). Esses autores observaram que nas duas parcelas de maior estoque de biomassa as árvores gigantes contribuíram com 9,3% e 15,8% do total de cada parcela.

As espécies que mais contribuíram com a biomassa e o carbono estocado neste estudo foram *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, *Matayba elaeagnoides* Radlk e *Nectandra grandiflora* Nees & Mart. Watzlawick et al. (2012), entretanto, observaram maior contribuição das espécies

Ocotea porosa (Nees & Mart.) Barroso, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg e *Ocotea pulchella* (Nees & Mart.) Mez. No estudo desenvolvido por Watzlawick *et al.* (2012), a espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze contribuiu com 23% e *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso com 29,09% da biomassa total (biomassa acima do solo e biomassa de raízes), sendo essas as espécies de maior valor de importância na floresta estudada. No estudo desenvolvido por Mognon *et al.* (2013) a araucária representou 37% do estoque de carbono considerando apenas a fração acima do solo.

Neste trabalho, entretanto, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze contribuiu em média com 51% do estoque total de carbono na biomassa, contra apenas 8% de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso. Além disso, a ordem das espécies com maior biomassa não seguiu a ordem das espécies com maior valor de importância (VI), sendo as espécies *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e *Nectandra grandiflora* Nees & Mart. as indicadas como possuindo maior VI, com 28,1% e 9,9%, de acordo com Dalla Lana (2013). Esse fato ocorreu possivelmente devido à presença na parcela com predominância de folhosas no dossel (Parcela I), de indivíduos de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (VI=3,3%) com diâmetro à altura do peito acima de 100 cm, o que influenciou no resultado de biomassa e carbono. Uma lista mais completa das espécies de maior contribuição no estoque de carbono na biomassa (biomassa acima do solo e biomassa de raízes) consta no Apêndice 1.

Importantes pesquisas desenvolvidas em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Montana destacam a variabilidade apresentada por essa tipologia, tanto quanto ao número de espécies, quanto às características estruturais; variabilidade resultante dos diferentes estágios de conservação observados nos remanescentes, além de diferenciação das condições ambientais (SANQUETTA; CORTE; RODRIGUES, 2014b). Ou seja, as diferenças observadas entre fragmentos, inclusive em relação ao número de indivíduos de araucária podem ser atribuídas às diferenças no processo de antropização, uma vez que, segundo Sanquetta e Mattei (2006), esse processo na região de abrangência da Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil se deu de forma diferenciada no espaço e no tempo. A regeneração da araucária se dá somente em ambientes relativamente abertos, como é o caso das florestas secundárias em estágios iniciais de sucessão (SANQUETTA, 2008), dependendo, portanto, da forma de exploração empregada.

De acordo com Shimamoto, Botosso e Marques (2014), diferentes padrões de crescimento entre os grupos ecológicos também podem causar diferenças no acúmulo de biomassa e, em última análise, determinar os limites de distribuição das espécies e o controle do balanço de carbono em um ecossistema. Ainda segundo esses autores, devido ao fato da biomassa estar relacionada com a idade e o grupo ecológico, o acúmulo pode variar de acordo com as diferentes proporções de espécies de crescimento rápido e lento ao longo do tempo. Isso indica uma possível influência da densidade de indivíduos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, na diferença obtida no estoque de biomassa e carbono entre os fragmentos de Floresta Ombrófila Mista Montana comparados.

Rodrigues *et al.* (2014) selecionaram trabalhos que versavam sobre a composição florística e estrutural da floresta com araucária, em áreas sob a tutela do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD Sítio 9 e fizeram uma análise de agrupamento que visou observar a similaridade entre os trabalhos e as áreas de pesquisa quanto aos resultados da composição florística. Dentre os trabalhos analisados, alguns foram desenvolvidos na mesma área alvo desta pesquisa, e outros, nas áreas dos estudos utilizados na comparação dos resultados. Esses autores atribuíram as diferenças na composição de espécies arbóreas entre as áreas estudadas aos diferentes estágios sucessionais das florestas, bem como ao grau de perturbação antropogênica sofrido em cada uma das áreas.

5.2 DENSIDADE E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

O solo da área de estudo possui textura predominantemente argilosa, segundo a classificação simplificada da Embrapa (2009), aumentando o teor de argila em profundidade, o que indica uma migração da argila por eluviação. O contrário ocorre com os teores de silte e areia que tendem a diminuir com a profundidade (Tabela 3). Curcio *et al.* (2006), em Cambissolos e Gleissolos em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Quatro Barras, no Paraná e Santos (2007) em Cambissolos em Floresta Ombrófila Densa em Antonina, também observaram aumento do teor de argila em profundidade. As frações areia, silte e

argila estão condicionadas a gênese do solo (LIMA, 2003) sendo que a vegetação não exerce influência direta (SANTOS, 2007).

TABELA 3 – GRANULOMETRIA EM DIFERENTES CAMADAS DO SOLO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Camada (cm)	Granulometria (%)		
	Argila	Silte	Areia
0 a 5	40,92	25,08	34,00
5 a 10	47,25	25,83	26,92
10 a 20	49,00	24,50	26,50
20 a 40	50,72	21,42	27,86

FONTE: O autor (2015)

A densidade do solo aumenta com a profundidade da camada, sendo que a camada superficial (0 a 5 cm) apresenta diferença estatística em relação as demais camadas (Figura 15). Esse parâmetro influencia diretamente o estoque de carbono no solo, que é proporcional a aumentos de densidade, espessura da camada de solo e teor de carbono. O aumento da densidade à medida que aumenta a profundidade no perfil se deve possivelmente ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação e uma compactação causada pela massa das camadas superiores (BRADY; WEIL, 2013). A densidade apresentou baixa variação espacial, com coeficientes de variação de 15,62% na camada de 0 a 5 cm; 14,83% na camada de 5 a 10 cm; 12,70% na camada de 10 a 20 cm e 14,03% na camada de 20 a 40 cm.

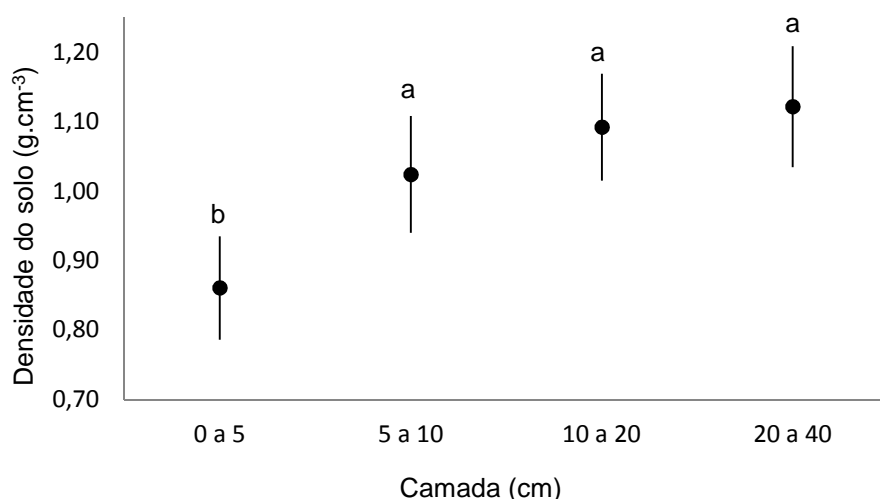


FIGURA 15 – MÉDIA \pm ERRO ABSOLUTO DA DENSIDADE DO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS (g.cm^{-3}) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

O teor de carbono, ao contrário da densidade, diminuiu com a profundidade (Figura 16). De acordo com Caldeira *et al.* (2002) e Mafra *et al.* (2008), a adição de material orgânico proveniente, principalmente da serapilheira, é responsável pelo acúmulo de carbono na camada superficial do solo, à medida que essa vai sendo humificada. Santos (2014), em fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de Capão Alto, SC, e Nogueira (2013), em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual entre os municípios de Madre Deus de Minas e Itutinga/MG, também observaram diminuição do teor de carbono com a profundidade.

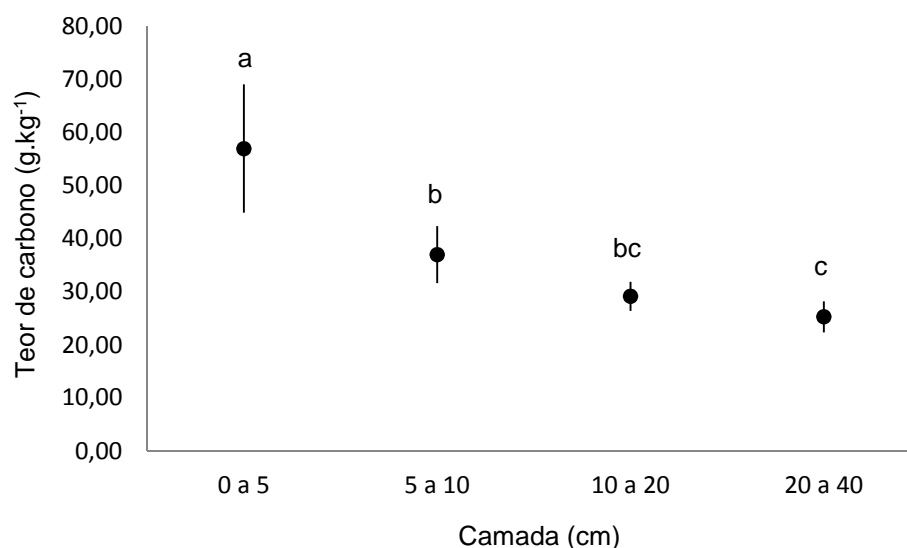


FIGURA 16 - MÉDIA \pm ERRO ABSOLUTO DOS TEORES DE CARBONO NO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

Os teores de carbono no solo encontrados neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Mafra *et al.* (2008) em floresta nativa com araucária em Campo Belo do Sul, SC. Esses autores obtiveram teor de carbono orgânico de 55,8 g.kg⁻¹ na camada de até 5 cm de profundidade; 34,9 g.kg⁻¹ na camada de 5 a 10 cm de profundidade; 27,1 g.kg⁻¹ na camada de 10 a 20 cm e 22,5 g.kg⁻¹ na camada de 20 a 40 cm. Balbinot (2009) encontrou teores de carbono de 35,8 g.kg⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa Submontana na camada de 0 a 5 cm; 28,0 g.kg⁻¹ na camada de 5 a 10 cm; 16,7 g.kg⁻¹ na camada de 10 a 20 cm e 10,5 g.kg⁻¹ na camada de 20 a 40 cm.

Martins (2010) analisou o teor de carbono no solo de Floresta Atlântica na faixa litorânea ao longo de um gradiente altitudinal. Os teores de carbono obtidos na camada de 0 a 5 cm de profundidade foram 58,9 g.kg⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa Submontana a 400 m e 91,5 g.kg⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa Montana a 1000 m de altitude.

Castro (2014) analisando o solo de Floresta Ombrófila Densa Altomontana em um gradiente altitudinal obteve teores de carbono maiores nas altitudes mais elevadas. Segundo esse autor, os atributos relacionados à matéria orgânica são influenciados pela mudança microclimática como temperatura e umidade, que reduzem a decomposição e propiciam o acúmulo de matéria orgânica. Sendo assim, as diferentes altitudes poderiam proporcionar um microclima mais ou menos

favorável ao acúmulo de carbono. Neste estudo os teores de carbono foram superiores aos obtidos por Castro (2014) a uma altitude de 1112 m ($41,1 \text{ g.kg}^{-1}$ na camada de 0 a 5 cm), mas muito inferiores aos obtidos à altitude de 1550 m (172 g.kg^{-1} na camada de 0 a 5 cm).

Houve uma maior variação nos teores de carbono na camada superficial (CV: 38,30%), comparativamente as camadas de 5 a 10 cm (CV: 26,20%); 10 a 20 cm (CV: 17,08%) e 20 a 40 cm (CV: 21,03%) (Figura 16). A camada superior do solo está mais diretamente exposta a distúrbios naturais e antropogênicos (IPCC, 2006), o que pode ter influenciado no resultado. As diferenças fisionômicas entre as parcelas analisadas também podem ser apontadas como um possível fator da variação espacial do teor de carbono no solo. As altas variações dificultam uma estimativa mais acurada do estoque de carbono na camada mais superficial.

Novaes Filho *et al.* (2007), ao analisarem a distribuição espacial de carbono sob floresta primária na Amazônia meridional, também observaram a alta dispersão do teor, apesar de existir uma aparente homogeneidade quanto às características visíveis na paisagem, como relevo, cor de solo e vegetação.

Com relação ao estoque de carbono, neste estudo obteve-se $23,99 \pm 4,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de carbono na camada de 0 a 5 cm; $18,59 \pm 2,15 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 5 a 10 cm; $31,51 \pm 4,05 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 10 a 20 cm e $53,61 \pm 6,05 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 20 a 40 cm. Mafra *et al.* (2008) obtiveram $26,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de carbono orgânico na camada até 5 cm; 19 Mg.ha^{-1} na camada de 5 a 10 cm; $31,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 10 a 20 cm e $53,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 20 a 40 cm em Floresta Ombrófila Mista em Campo Belo do Sul, SC. As diferenças observadas podem ser atribuídas, entre outros fatores, às diferenças na densidade dos solos dos trabalhos comparados.

O estoque de carbono de $29,45 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na camada de 0 a 5 cm a 1000 m de altitude obtido por Martins (2010) em Floresta Ombrófila Densa foi superior ao encontrado neste trabalho ($23,99 \text{ Mg.ha}^{-1}$), apesar de a densidade do solo no trabalho de Martins (2010) ser de apenas $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$. O teor de carbono elevado na referida camada foi possivelmente responsável pelo alto estoque obtido. Entretanto, o estoque de carbono no solo na camada de 0 a 5 cm obtido neste estudo se assemelha ao encontrado por Martins (2010) em Floresta Ombrófila Densa a 100 m de altitude ($24,12 \text{ Mg.ha}^{-1}$).

O estoque total de carbono até a profundidade de 40 cm foi de 128 Mg.ha⁻¹. Santos (2014) analisando fragmento de Floresta Ombrófila Mista com solo predominantemente Nitossolo Bruno obteve para a mesma profundidade um estoque de 121 Mg.ha⁻¹. Destaca-se que o solo do estudo de Santos (2014) possuía menor densidade em comparação a este estudo.

A partir dos resultados de Martins (2010) foi possível estimar que na altitude de 1000 m o estoque de carbono até 40 cm de profundidade foi de cerca de 170 a 190 Mg.ha⁻¹, sendo, portanto, superior ao obtido neste estudo (128,10 Mg.ha⁻¹). Contudo, para a altitude de 100 m esse autor obteve em torno de 110 a 130 Mg.ha⁻¹ de carbono estocado no solo. Em trabalho realizado por Balbinot (2009), o estoque total de carbono no solo até 40 cm de profundidade foi de 57,8 Mg.ha⁻¹, em Floresta Ombrófila Densa Submontana, em um solo de menor densidade e menor teor de carbono.

O IPCC possui valores *default* de estoque de carbono em solos até a camada de 30 cm de profundidade. Como neste estudo a amostragem foi realizada até 40 cm de profundidade, para estimar o estoque de carbono na camada de 0 a 30 cm e possibilitar a comparação dos resultados considerou-se no cálculo apenas o volume da camada de 20 a 30 cm, e utilizaram-se os valores de densidade e teor de carbono obtidos na camada de 20 a 40 cm. O estoque de carbono obtido foi de 101,30 Mg.ha⁻¹, valor superior aos *defaults* do IPCC para domínio climático Subtropical e região climática temperada quente e úmida em solos com argila de baixa atividade (63 Mg.ha⁻¹), e de alta atividade (88 Mg.ha⁻¹).

O estoque de carbono em kg.m⁻³ é mais elevado na primeira camada de solo, diminuindo em profundidade (Figura 17).

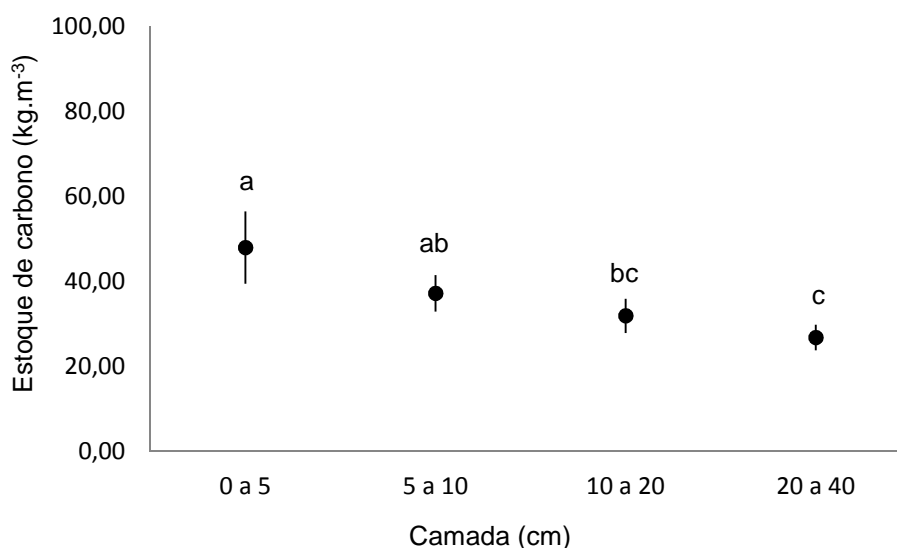


FIGURA 17 – ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM DISTINTAS CAMADAS (kg.m⁻³) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

O estoque de carbono registrado neste estudo considerando a camada de 30 cm foi de 10,13 kg.m⁻², valor semelhante ao reportado no Segundo Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa para Floresta Ombrófila Mista em Latossolos com argila de atividade baixa (10,25 kg.m⁻²), e para solos com argila de atividade alta (9,88 kg.m⁻²), mas superior a não Latossolos com argila de atividade baixa (5,68 kg.m⁻²) (FUNCATE, 2010). Segundo essa publicação, no segundo inventário utilizou-se a mediana dos valores reportados no primeiro inventário brasileiro.

O primeiro inventário por sua vez, destaca a escassez de medições do carbono armazenado em solos publicadas no Brasil. Por isso, tem-se utilizado, para fins de comparação, relações entre medidas de carbono extraídas de perfis de diferentes camadas, tendo sido identificadas várias fontes de incerteza. Dentre as fontes de incerteza estão a falta de medidas de densidade do solo e o uso do método Walkley e Black (1934) e a metodologia baseada em oxidação dicromática para estimar o teor de carbono (MCT, 2006).

5.3 ESTOQUE DE CARBONO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA

5.3.1 Teor de carbono

O teor médio de carbono ponderado das frações da serapilheira acumulada foi de $439,9 \pm 9,65 \text{ g.kg}^{-1}$. Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram um teor de $382,1 \text{ g.kg}^{-1}$ na serapilheira acumulada, com desvio padrão de $22,1 \text{ g.kg}^{-1}$ e coeficiente de variação de 5,80% ao realizar um estudo sobre o estoque de carbono na serapilheira em área de Floresta Ombrófila Mista localizada no Parque Nacional do Iguaçu, no Paraná. Caldeira *et al.* (2007) obtiveram um teor de carbono orgânico da serapilheira acumulada de $379,2 \text{ g.kg}^{-1}$ em uma Floresta Ombrófila Mista, em General Carneiro, no Paraná. Caldeira *et al.* (2013), por sua vez, obtiveram um teor de carbono de 520 g.kg^{-1} em Floresta Estacional Semidecidual em Alegre, ES.

Os teores de carbono podem apresentar variações com a idade das árvores, o tamanho (árvores menores tendem a apresentar maiores teores), e com relação à espécie, e também pode variar entre os tecidos, fator que pode depender do meio ambiente, da distribuição nos tecidos e estágio de desenvolvimento (WATZLAWICK *et al.*, 2004). Sendo assim, essas diferenças nos teores de carbono dos diferentes tecidos e espécies da biomassa arbórea podem refletir nos teores obtidos na serapilheira estocada. Dessa forma, as diferenças no teor de carbono da serapilheira estocada entre fragmentos pode ser também um reflexo da composição de espécies de maior ou menor teor de carbono na serapilheira produzida de cada fragmento.

Ao analisar as frações da serapilheira individualmente (Tabela 4), observa-se que o teor de carbono das folhas recém-depositadas não diferiu estatisticamente do obtido nos ramos aciculados de araucária e ambos foram mais elevados que os teores de carbono observados nas demais frações. Schulp *et al.* (2008) obtiveram teor de carbono mais elevado na camada mais superficial da serapilheira acumulada, que representa o material mais recentemente depositado.

TABELA 4 – TEOR DE CARBONO NAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Frações da serapilheira acumulada	Teor de carbono (g.kg ⁻¹)
Folhas recentemente depositadas	476,6a
Ramos aciculados de araucária	469,7a
Folhas com sinais de decomposição	453,7b
Material lenhoso de até 2 cm de diâmetro	448,9b
Órgãos reprodutivos	446,1b
Peneira	431,6

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%.

NOTA: Na análise de variância não foi considerada a fração peneira, pois essa apresentou teor de carbono muito heterogêneo.

FONTE: O autor (2015)

Esse fato pode ser explicado pela perda inicial de carbono sofrida pelas folhas que estão em um estágio mais avançado de decomposição, uma vez que, os microorganismos atacam primeiramente os carboidratos nas estruturas externas e mais disponíveis da serapilheira (BERG; MCCLAUGHERTY, 2014). Com relação ao elevado teor de carbono observado nos ramos aciculados, a madeira da espécie araucária possui grande quantidade de lignina (MATTOS *et al.*, 2006), sendo que essa contém alto teor de carbono (RAGAN *et al.*, 2011), maior do que o contido na celulose ou hemicelulose (HARMON *et al.*, 2013). As fontes de carbono presentes na lignina são mineralizadas por uma gama restritiva de fungos e bactérias (BARAJAS-GUZMÁN; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, 2003), permanecendo o carbono no material por mais tempo.

Watzlawick *et al.* (2004) obtiveram teor de carbono orgânico considerado como alto nos “galhos mortos” de araucária ($> 425,41 \text{ g.kg}^{-1}$) ao analisar a biomassa de diferentes componentes arbóreos de espécies de Floresta Ombrófila Mista. Esses autores também obtiveram teor de carbono considerado como elevado na madeira do fuste e na casca dessa espécie ($> 423,44 \text{ g.kg}^{-1}$), enquanto folhas e galhos vivos apresentaram teor médio ($\leq 438,08 \text{ g.kg}^{-1}$). Conforme citado, a madeira de araucária possui alto teor de lignina (MATTOS *et al.*, 2006), e em tecidos vegetais em decomposição, a lignina atua como uma barreira estrutural, impedindo o acesso de enzimas para a maior parte dos compostos de carbono lábeis (PAULY; KEEGSTRA, 2008; AUSTIN; BALLARÉ, 2010). Possivelmente, nos ramos aciculados mortos de araucária o teor de carbono presente na lignina se mantém, enquanto outros componentes são perdidos, diminuindo a massa do material e aumentando o seu percentual de carbono.

5.3.2 Serapilheira acumulada e estoque de carbono

Com a intensidade amostral adotada neste estudo (120 unidades), os erros de amostragem para 95% de probabilidade, para a massa e o estoque de carbono da serapilheira acumulada, foram de 8,92 e 8,50%, respectivamente. Com relação à amostragem de menor intensidade realizada em 2013, em dois momentos distintos, os erros, para a massa de serapilheira acumulada, foram de 15,07% e 18,18%, respectivamente na primeira e segunda coletas (abril e setembro).

A média do estoque de serapilheira no piso florestal foi $7,98 \pm 1,15 \text{ Mg.ha}^{-1}$, e o estoque de carbono correspondente foi de $3,53 \pm 0,52 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Optou-se por adotar o resultado da média entre as duas coletas realizadas em 2013 devido às variações temporais observadas e explicadas em item subsequente deste estudo.

O IPCC (2006) fornece valores *default* de estoque de carbono na serapilheira para domínio climático Subtropical. O IPCC (2006) considera no compartimento serapilheira, além do material foliar, material reprodutivo, casca, etc., também a necromassa lenhosa fina, até 10 cm de diâmetro. Contudo, devido à ausência de estudos que incluam a necromassa lenhosa fina, os valores apresentados no documento do IPCC (2006) são referentes apenas ao material não lenhoso (serapilheira). Em florestas com predomínio de coníferas perenes o IPCC (2006) aponta um estoque de carbono na serapilheira acumulada de $4,1 \text{ Mg.ha}^{-1}$, enquanto para florestas com predomínio de folhosas decíduas indica um estoque de carbono na serapilheira de $2,8 \text{ Mg.ha}^{-1}$, variando de 2 a 3 Mg.ha^{-1} .

Sanquetta *et al.* (2014) realizaram um estudo sobre o estoque de carbono na serapilheira acumulada e madeira morta em áreas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual localizadas no Parque Nacional do Iguaçu, no Paraná. Esses autores dividiram o material coletado em serapilheira (material foliar e outros de menores dimensões) e quatro classes de necromassa lenhosa, de acordo com o diâmetro do material.

Para que fosse possível a comparação dos resultados obtidos por Sanquetta *et al.* (2014) com os encontrados neste trabalho considerou-se como serapilheira a somatória do material foliar com duas classes de necromassa lenhosa, que equivalem ao material até 2,5 cm de diâmetro. Sendo assim, Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram estoque de serapilheira de $11,68 \text{ Mg.ha}^{-1}$, com respectivo estoque de

carbono de $4,49 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Mista, valores superiores a os obtidos neste estudo, possivelmente devido ao fato de a floresta analisada por esses autores estar no limite de distribuição da araucária, com maior ocorrência de espécies caducifólias. Esse fato ocorre devido a área analisada estar localizada em uma zona de transição entre a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (RICOBOM, 2001). A coleta também pode ter influenciado no resultado obtido, tendo sido realizada de maneira pontual e não em diferentes momentos ao longo do ano.

É possível observar que o valor de estoque de serapilheira acumulada encontrado neste trabalho é semelhante aos citados por Watzlawick *et al.* (2012), Sousa (2003) e Caldeira *et al.* (2007), que também realizaram estudos similares em Floresta Ombrófila Mista, porém inferiores aos verificados por Backes, Prates e Viola (2005) (Tabela 5). Esses autores atribuíram os seus valores, considerados altos, à maior lentidão dos processos de decomposição em suas áreas de estudo. Valores elevados também foram obtidos por Martins (2011), sendo que esse autor atribuiu o alto valor à queda das folhas no período frio acumulando essa biomassa na serapilheira. Contudo, apesar de uma das coletas de serapilheira acumulada deste estudo ter sido realizada após o período de inverno, obteve-se nesse período um estoque de $6,93 \text{ Mg.ha}^{-1}$, inferior ao estoque encontrado após o período de verão ($9,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$).

TABELA 5 - COMPARAÇÃO DA MÉDIA DO ESTOQUE DE SERAPILHEIRA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR COM VALORES DA LITERATURA PARA FORMAÇÕES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA

Tipologia Florestal	Estoque (Mg.ha ⁻¹)	Local	Autor(es)
Floresta Ombrófila Mista	7,98	São João do Triunfo/PR	Este estudo
Floresta Ombrófila Mista	7,99	General Carneiro/PR	Caldeira <i>et al.</i> (2007)
Floresta Ombrófila Mista	8,01	General Carneiro/PR	Watzlawick <i>et al.</i> (2012)
Floresta Ombrófila Mista	14,20	São Francisco de Paula/RS	Backes, Prates e Viola (2005)
Floresta Ombrófila Mista	18,69	Boa Ventura de São Roque/PR	Martins (2011)
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	8,80	Araucária/PR	Sousa (2003)
Floresta Ombrófila Densa	7,77*	Silva Jardim/RJ	Borém e Ramos (2002)
Floresta Ombrófila Densa	7,24	Parque do Caparaó/ES	Castro (2014)
Floresta Estacional Semidecidual	6,22	Botucatu/SP	Vital <i>et al.</i> (2004)
Floresta Estacional Semidecidual	5,50	Cachoeiro de Itapemirim/ES	Godinho <i>et al.</i> (2014)
Floresta Estacional Semidecidual	9,40	Alegre/ES	Caldeira <i>et al.</i> (2013)

* Média dos valores obtidos pelos autores para duas topossequências e dois períodos do ano.

FONTE: O autor (2015)

Estudos indicam que o período de coleta pode ser determinante quanto ao estoque de serapilheira e carbono no piso florestal, com grandes variações entre estações e inclusive entre os meses de uma mesma estação (ROCHA, 2006; DICKOW, 2010). Esse fato indica a complexidade do sistema de produção e acúmulo de serapilheira na Mata Atlântica, que pode depender de um conjunto de variáveis locais de cada fragmento florestal estudado.

A acurácia na comparação dos valores também pode ser prejudicada pela ausência de informações relativas à inclusão ou não de necromassa lenhosa fina na amostragem, e das dimensões consideradas ao amostrar o material nos trabalhos citados.

Com relação ao estoque de carbono na serapilheira, Watzlawick *et al.* (2012) em estudo realizado na Floresta Ombrófila Mista, encontraram estoque de carbono orgânico de 3,06 Mg.ha⁻¹. Em estudo anterior, Watzlawick *et al.* (2002), considerando três estágios sucessionais em Floresta Ombrófila Mista Montana, encontraram 2,99; 3,30 e 2,90 Mg.ha⁻¹ de carbono na serapilheira acumulada nos estádios inicial, médio e avançado de regeneração. Caldeira (2003) obteve 3,02 Mg.ha⁻¹ de carbono orgânico na serapilheira acumulada em Floresta Ombrófila Mista e Sousa (2003), obteve 3,98 Mg.ha⁻¹ de carbono em Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

Sendo assim, o estoque de carbono na serapilheira acumulada no piso florestal obtido neste estudo se assemelhou ao de muitos dos estudos citados em Floresta Ombrófila Mista. Contudo, como foi observado na Tabela 5, na mesma tipologia florestal podem ser observados valores bastante distintos de serapilheira acumulada, o que em alguns casos poderá refletir no estoque de carbono.

5.3.3 Distribuição espacial

Para a análise da distribuição espacial utilizaram-se os dados da coleta realizada em 2012, devido ao maior número de amostras coletadas (120 amostras). O coeficiente de variação para a estimativa da serapilheira acumulada foi de 49%, e para a estimativa do estoque de carbono na serapilheira foi de 47%. Fortes, Lúcio e Storck (2008) estimaram a serapilheira acumulada nas quatro estações do ano em uma Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, RS. Esses autores realizaram 15 amostragens por hectare, e obtiveram um coeficiente de variação de 35,64% para a média da massa de serapilheira acumulada ao longo das estações ($7,15 \text{ Mg.ha}^{-1}$). Klainpaul *et al.* (2005) também obtiveram altos coeficientes de variação (superiores a 50%) em Floresta Estacional Decidual em Santa Maria, RS. Outros autores já reportaram a alta variabilidade no estoque de carbono contido na serapilheira acumulada (LADEGAARD-PEDERSEN; ELBERLING; VESTERDAL, 2005; SCHULP *et al.*, 2008).

Os altos coeficientes de variação associados a esse tipo de material denotam a variação em sua distribuição espacial. A análise da distribuição da serapilheira pelo Índice de Morisita demonstrou um caráter aleatório ($I_\delta = 1,13$). No gráfico de distribuição de frequência (Figura 18) observa-se que a serapilheira apresenta uma distribuição que se aproxima da normal, mas com picos de frequências em algumas classes que descaracterizam a clássica forma de sino da distribuição de Gauss.

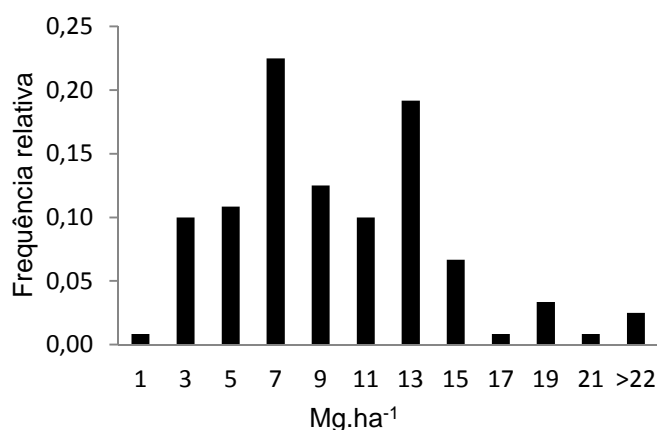


FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 FONTE: O autor (2015)

São muitos os fatores que podem explicar a variação na distribuição do carbono na serapilheira acumulada no piso florestal. Ladegaard-Pedersen; Elberling e Vesterdal (2005) analisaram a influência de diferentes espécies no estoque de carbono na serapilheira acumulada e no solo, considerando oito espécies de coníferas e duas espécies decíduas em plantações na Dinamarca e obtiveram resultados significativamente diferentes entre as espécies. Schulp *et al.* (2008) também analisaram a influência das espécies arbóreas no estoque de carbono na serapilheira acumulada no solo florestal, e concluíram que diferenças no estoque de carbono entre florestas de coníferas e folhosas são suficientemente significativas para considerá-las relevantes no sistema de inventário de carbono da Holanda.

A Floresta Ombrófila Mista conta com a presença maciça de uma conífera (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze). A presença dessa espécie em meio às folhosas pode estar influenciando na distribuição da serapilheira acumulada no piso florestal. Segundo Berg (2000) a serapilheira de coníferas contém mais componentes difíceis de decompor comparativamente a serapilheira de folhosas, o que pode resultar em acúmulo no solo. Neste trabalho, conforme pode ser observado com maior detalhe em item subsequente, a produção de folhas apresentou um coeficiente de variação médio mensal de 69%, enquanto o coeficiente de variação na produção de ramos aciculados de araucária foi em média de 153%.

Segundo o trabalho realizado por Schulp *et al.* (2008), o horizonte correspondente a camada de serapilheira em decomposição (horizonte F), em áreas

de coníferas são mais espessos comparando a áreas apenas com a presença de folhosas. Esses autores ainda destacam que o grupo de espécies influencia na quantidade de carbono, assim como em sua distribuição no perfil. Neste trabalho, ao analisar separadamente os coeficientes de variação da fração folhas e da fração ramos aciculados de araucária na serapilheira acumulada, é reforçada a hipótese da grande influência dessa espécie na variação espacial da massa e estoque de carbono obtida. As folhas apresentaram um coeficiente de variação de 63% em abril de 2013 e 60% em setembro de 2013, enquanto os ramos aciculados tiveram um coeficiente de variação de 112% e 115% respectivamente, em abril e setembro de 2013.

Outro fator que pode influenciar na distribuição do estoque de serapilheira no piso florestal está relacionado à direção dos ventos. Em estudo desenvolvido por Staelens *et al.* (2003) esses autores concluíram que direções prevalentes dos ventos durante a produção da serapilheira afetaram a distribuição das folhas em uma Floresta Estacional Decidual.

Conforme citado neste trabalho, diversos são os fatores que podem influenciar no acúmulo de serapilheira sobre o piso florestal, sendo alguns citados por Caldeira *et al.* (2008), como: a espécie, a cobertura florestal, o estágio sucessional, a idade, a época da coleta, o tipo de floresta e local, entre outros. Porém, de acordo com Penne *et al.* (2010), muitos dos estudos realizados sobre o tema não mostram relação direta entre fatores externos e a variação espacial do estoque de carbono na serapilheira acumulada. Outro fator que pode influenciar no estoque de carbono na serapilheira acumulada é a estrutura do dossel, que, de acordo com Penne *et al.* (2010), pode influenciar a variação espacial da entrada de carbono, primeiramente, governando a precipitação interna e produção de serapilheira sobre a camada orgânica, e de maneira secundária, influenciando os fatores climáticos da camada orgânica, tais como a dinâmica da temperatura e umidade.

5.3.4 Variação temporal do estoque de carbono na serapilheira acumulada

Foi observada diferença estatística significativa entre os períodos analisados para a massa de serapilheira acumulada, sendo que no mês de abril de 2013 o estoque de serapilheira obtido foi de $9,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e no mês de setembro de 2013 foi de $6,93 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Contudo, não houve diferença significativa no estoque de carbono na serapilheira total acumulada entre os dois períodos de coleta.

Uma possível explicação para o maior acúmulo de serapilheira no mês de abril de 2013 em relação a setembro de 2013 está relacionada a maior deposição de serapilheira nos meses que antecederam a realização da coleta. A média da deposição entre janeiro, fevereiro e março de 2013 foi de $0,65 \text{ Mg.ha}^{-1}$, enquanto nos meses de junho, julho e agosto foi de $0,36 \text{ Mg.ha}^{-1}$, sendo que, de acordo com Britez *et al.* (2006), os picos de deposição de serapilheira em determinado período podem refletir o maior acúmulo após a deposição.

Entretanto, não foi observada correlação significativa ($p > 0,05$) entre a produção mensal de serapilheira total e a serapilheira acumulada nos dois momentos analisados. Contudo, ao analisar apenas a fração folhas obteve-se correlação significativa ($p < 0,05$) entre a quantidade total de folhas acumulada no piso florestal na segunda coleta (setembro/2013) com a produção mensal de folhas dos meses de junho ($r = 0,52$), julho ($r = 0,76$), agosto ($r = 0,72$) e setembro ($r = 0,63$). Obteve-se também correlação significativa ($p < 0,05$) entre a quantidade de folhas recentemente depositadas presentes na serapilheira acumulada e a produção de folhas nos meses de julho ($r = 0,69$), agosto ($r = 0,70$) e setembro ($r = 0,62$).

Com relação à fração folhas recentemente depositadas, na coleta realizada em abril de 2013 essa fração contribuiu com apenas 1% da serapilheira acumulada, enquanto na segunda coleta contribuiu com 10% (Figura 19). Essa diferença refletiu no estoque de carbono que foi estatisticamente distinto entre as duas coletas com relação à fração folhas recentemente depositadas (Tabela 6).



FIGURA 19 – CONTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM ABRIL E SETEMBRO DE 2013 EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

NOTA: FR: folhas recentemente depositadas; FD: folhas com sinais de estágio de decomposição mais avançado; RA: ramos aciculados de araucária; G: ramos e galhos de até 2 cm de diâmetro; MR: material reprodutivo; PE: peneira (material fragmentado que passava em peneira com malha de 10 mm).

FONTE: O autor (2015)

TABELA 6 – DIFERENÇAS NA MASSA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA E ESTOQUE DE CARBONO ENTRE ABRIL E SETEMBRO DE 2013 EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Fração	Massa (Mg.ha ⁻¹)			Estoque de carbono (Mg.ha ⁻¹)		
	Abril	Setembro	Média	Abril	Setembro	Média
Folhas recentemente depositadas	0,10b	0,49a	0,29	0,05b	0,30a	0,18
Folhas decompostas	0,41a	0,48a	0,45	0,18a	0,22a	0,20
Ramos aciculados	1,58a	1,41a	1,49	0,74a	0,68a	0,70
Galhos	1,68a	1,27a	1,48	0,74a	0,58a	0,66
Órgãos reprodutivos	0,13a	0,08a	0,11	0,06a	0,04a	0,05
Peneira	5,13a	3,19b	4,16	2,14a	1,35b	1,74
Total	9,04a	6,93b	7,98	3,90a	3,16a	3,53

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

A média da deposição de folhas dos três meses que antecederam as coletas foi de 0,13 Mg.ha⁻¹ nos meses de janeiro fevereiro e março de 2013 e 0,18 Mg.ha⁻¹ em junho, julho e agosto de 2013. Contudo, a produção média de folhas ocorrida no mês de agosto (0,30 Mg.ha⁻¹) foi a segunda maior do ano, o que pode ter influenciado no maior acúmulo no mês seguinte.

Também se deve considerar que a primeira coleta ocorreu após o período de verão, e as altas temperaturas podem ter favorecido a decomposição, resultando em

um menor acúmulo de folhas em abril. Essa hipótese é reforçada pela diferença observada na quantidade de material presente na fração peneira que foi maior na coleta realizada em abril de 2013 (Tabela 6), sendo essa fração composta por materiais mais fragmentados e possivelmente em um estágio mais avançado de decomposição, enquanto a quantidade de material acumulado das demais frações não diferiu estatisticamente entre as coletas.

5.3.5 Contribuição das frações no estoque de carbono da serapilheira acumulada

Conforme pode ser observado na Figura 19, a maior contribuição em termos de massa e estoque de carbono na serapilheira acumulada no piso florestal foi da fração intitulada “peneira”. A partir do resultado obtido é possível concluir que cerca de 50% da serapilheira acumulada no piso florestal do fragmento analisado estão presentes na camada de material mais decomposto.

A fração peneira era composta por uma variedade de materiais que apresentavam dimensões inferiores ao tamanho da malha da peneira utilizada na separação (10 mm), como folhas de menores dimensões, pequenos ramos, cascas, material reprodutivo, etc. Porém, na Figura 20 pode ser observada a grande quantidade de acículas de araucária e fragmentos de folhas presente nessa fração, sendo que, devido ao material ser em grande quantidade e muito fragmentado, não foi possível separá-lo nas frações correspondentes. Dessa forma, a contribuição da fração ramos aciculados (ramos + acículas) pode ter sido subestimada.

Também é necessário considerar que o estoque de carbono da fração peneira e conseqüentemente da serapilheira acumulada total pode ter sido subestimado devido à contaminação do material por partículas de solo mineral, o que pode ter reduzido o teor de carbono real dessa fração. Para uma adequada verificação do nível de contaminação o material deveria passar por análise para a determinação da contribuição relativa ao solo mineral (ROCHA, 2006; DICKOW, 2010).



FIGURA 20 – DETALHE DA FRAÇÃO PENEIRA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
FONTE: O autor (2015)

Em Floresta Estacional Decidual em Santa Maria/RS, as folhas contribuíram com 49,6% da serapilheira acumulada, galhos contribuíram com 37,3%, material reprodutivo com 2%, cascas com 7,4%, e resíduos (outros materiais encontrados na serapilheira ou não identificados) com 3,6% (KLEINPAUL *et al.*, 2005). Sousa (2003) observou uma contribuição de 63% de folhas, 32% de galhos e 5% de miscelânea em Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Araucária/PR.

Os ramos aciculados de araucária constituíram a segunda fração que mais contribuiu no acúmulo de serapilheira no fragmento estudado (Figura 19), destacando a importância da espécie no balanço de carbono dessa tipologia florestal. Entretanto, são raros os trabalhos em Floresta Ombrófila Mista que apresentam uma distinção da contribuição dessa fração.

5.4 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA LENHOSA FINA

5.4.1 Acúmulo de necromassa lenhosa fina e estoque de carbono

Considerando as 120 amostras analisadas, a média do teor de carbono da necromassa lenhosa fina foi de $423,22 \pm 4,50 \text{ g.kg}^{-1}$, com coeficiente de variação de 5,28%. Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram teor de $397,0 \text{ g.kg}^{-1}$ na fração de

necromassa lenhosa de 2,51 a 7,6 cm de diâmetro e um coeficiente de variação de apenas 0,18% em Floresta Ombrófila Mista em transição com Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Nacional do Iguaçu, no Paraná. Os baixos coeficientes de variação indicam pouca variabilidade espacial do teor de carbono na variável analisada.

O estoque de necromassa lenhosa fina obtido neste estudo foi de $3,53 \pm 0,96$ Mg.ha⁻¹. Woodall *et al.* (2013) avaliaram o estoque de necromassa lenhosa utilizando os dados do Inventário Florestal Nacional dos Estados Unidos. Considerando apenas o material com diâmetros entre 2,55 e 7,59 cm, esses autores obtiveram uma média nacional de 3,29 Mg.ha⁻¹, variando de 1,74 a 7,43 Mg.ha⁻¹ entre os Estados americanos. As florestas de alguns Estados inseridos na zona climática Subtropical Úmida, como Carolina do Norte, Carolina do Sul, Geórgia, Alabama, Mississippi, Los Angeles e Flórida, apresentaram estoques de necromassa lenhosa fina de 3,53 Mg.ha⁻¹, 3,00 Mg.ha⁻¹, 2,99 Mg.ha⁻¹, 3,19 Mg.ha⁻¹, 3,27 Mg.ha⁻¹, 2,30 Mg.ha⁻¹, 2,34 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

Entretanto, Woodall *et al.* (2013) utilizaram o método da linha interceptadora para estimar o estoque de necromassa lenhosa fina, realizando apenas a contagem das peças, e não a medição dos diâmetros. Segundo esses autores, as aproximações realizadas para a estimativa do estoque de necromassa lenhosa fina a partir desse método podem ter subestimado o resultado final.

Sanquetta *et al.* (2014) estimaram um estoque de apenas 0,65 Mg.ha⁻¹ de necromassa lenhosa fina em Floresta Ombrófila Mista em transição com Floresta Estacional Semidecidual no Parque Nacional do Iguaçu, PR, valor bem inferior ao deste estudo. A amplitude de diâmetros das peças amostradas foi de 2,51 a 7,6 cm.

Deve-se considerar a possibilidade de influência da sazonalidade na deposição e estoque de necromassa lenhosa fina. No trabalho de Sanquetta *et al.* (2014) as coletas foram realizadas entre os meses de agosto e setembro, enquanto neste estudo foram realizadas em fevereiro. Conforme pode ser observado com mais detalhe no item 5.6 deste trabalho, a produção de material lenhoso apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com a temperatura máxima média ($r = 0,71$). Os picos de produção ocorreram nos meses de dezembro (0,19 Mg.ha⁻¹) e janeiro (0,13 Mg.ha⁻¹), enquanto nos meses mais frios (abril, maio, junho, julho e agosto), a média da produção foi de apenas 0,03 Mg.ha⁻¹.

Outro fator que pode ter influência ao comparar a quantidade de necromassa lenhosa estocada em floresta contínua e fragmentos florestais é o efeito de borda. Nascimento e Laurance (2006) estudaram o efeito de área e de borda sobre a estrutura da floresta de terra-firme na Amazônia Central Brasileira e observaram que fragmentos florestais apresentavam maior quantidade de necromassa lenhosa fina (2,5 a 9,9 cm de diâmetro) em comparação a floresta contínua.

Na amostragem de necromassa lenhosa do Inventário Florestal do estado de Santa Catarina também foi utilizado o método da linha de interceptação, sendo o material amostrado em diferentes classes de diâmetro. Ao considerar o somatório do estoque das classes de 1 a 5 cm e de 5 a 10 cm de diâmetro obteve-se 4,3 Mg.ha⁻¹ de necromassa lenhosa fina em Floresta Ombrófila Mista; 4,0 Mg.ha⁻¹ em Floresta Estacional Decidual; 4,7 Mg.ha⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa e 3,3 Mg.ha⁻¹ em Restinga (CARDOSO *et al.*, 2012).

Obteve-se neste estudo um estoque de carbono na necromassa lenhosa fina de $1,50 \pm 0,42$ Mg.ha⁻¹. Woodall e Liknes (2008) estudaram os estoques de carbono na necromassa lenhosa fina por meio de diferentes gradientes latitudinais nos Estados Unidos como um indicador dos efeitos das mudanças climáticas, utilizando dados oriundos do Programa de Inventário e Análises Florestais (FIA) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Esse estudo resultou em um estoque de carbono de 2,43 Mg.ha⁻¹ na necromassa lenhosa fina na classe latitudinal inferior a 33 graus Norte, aumentando até 3,55 Mg.ha⁻¹ em latitudes acima de 45 graus. O elevado estoque de carbono obtido por esses autores pode ter sido influenciado pelo uso de um valor médio único de teor de carbono também elevado (506 g.kg⁻¹). O teor de carbono não foi obtido de amostragem local, mas com base em literatura. A amplitude diamétrica adotada por esses autores (0,01 e 7,62 cm) foi diferente da utilizada neste estudo (2 a 10 cm), o que também pode ter influenciado nas diferenças observadas.

Com relação ao Inventário Florestal de Santa Catarina (CARDOSO *et al.*, 2012), ao somar as massas obtidas de necromassa lenhosa de 1 a 5 cm e 5 a 10 cm e multiplicar pelo teor de carbono adotado na publicação (475 g.kg⁻¹), o estoque de carbono resultante é de 2,04 Mg.ha⁻¹ em Floresta Ombrófila Mista; 1,9 Mg.ha⁻¹ em Floresta Estacional Decidual e 2,23 Mg.ha⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa.

São escassos os estudos que versam sobre o estoque de carbono em necromassa lenhosa fina, sendo que as diferenças nas classes de diâmetro

adotadas entre os trabalhos dificultam ou impossibilitam a comparação de resultados.

A aplicação de teores de carbono da literatura obtidos para biomassa viva também pode influenciar no resultado do estoque de carbono da necromassa. No Inventário Florestal de Santa Catarina foi aplicado um teor de carbono de 475 g.kg^{-1} sugerido por Magnussen e Reed (2004) para ser aplicado às estimativas do estoque de carbono na biomassa viva, serapilheira recentemente depositada e árvores mortas em pé. Para material morto mais decomposto esses autores sugerem a coleta de amostras para determinação do teor de carbono. Ao multiplicar o teor de carbono sugerido por Magnussen e Reed (2004) pelo estoque de necromassa lenhosa fina obtida neste estudo, o estoque de carbono é superestimado em 12%.

5.4.2 Distribuição espacial

Com a intensidade amostral adotada neste estudo (120 unidades), os erros de amostragem para 95% de probabilidade para a massa e o estoque de carbono da necromassa lenhosa fina foram de 27,06% e 27,76%, sendo necessário, portanto, um aumento do esforço amostral. Woodall *et al.* (2013), utilizando os dados do inventário florestal nacional dos Estados Unidos, obtiveram erros de amostragem variando de 1,9% para a amostragem realizada na Califórnia a 35,5% em Nebraska.

O coeficiente de variação do estoque de necromassa lenhosa fina sobre o piso florestal foi de 150%, e para o estoque de carbono nesse compartimento foi de 154%. Os altos coeficientes de variação associados a esse tipo de material denotam a variação em sua distribuição espacial. A análise da distribuição espacial da necromassa lenhosa fina pelo Índice de Morisita demonstrou um caráter agregado ($I_b = 2,94$). Isso significa que esse tipo de material apresenta-se concentrado em determinados locais na parcela, havendo outros locais com pouco ou nenhum material. No gráfico de distribuição de frequência (Figura 21) observa-se que esse tipo de material apresenta forte assimetria à direita, revelando a alta concentração de unidades amostrais com baixa ocorrência/nula na área de estudo.

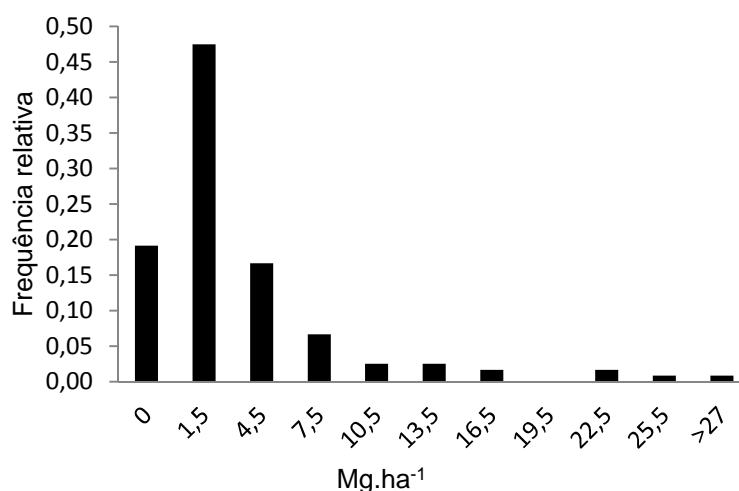


FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA NECROMASSA LENHOSA FINA ACUMULADA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

FONTE: O autor (2015)

Vieira *et al.* (2010) também observaram alta variação espacial da necromassa lenhosa estocada e atribuíram essa heterogeneidade de distribuição de galhos na serapilheira à presença de indivíduos senescentes ou em processo de senescência com distribuição irregular no fragmento de Floresta Estacional Decidual analisado.

Woodall, Perry e Westfall (2012), utilizando dados obtidos do Inventário Florestal Nacional dos Estados Unidos, também observaram elevada variação espacial, com grande número de unidades amostrais sem nenhum material. São raros os trabalhos que enfocam o tema da distribuição espacial da necromassa. Porém, é possível presumir que esse comportamento de distribuição está atrelado à deposição diferenciada de cada tipo de material, pois enquanto as folhas e outros materiais leves podem ser transportados pelo vento, é a ação de gravidade que determina a espacialização dos materiais mais pesados. Staelens *et al.* (2003), concluíram que direções prevaletentes dos ventos durante a produção da serapilheira afetaram a distribuição das folhas em uma Floresta Estacional Decidual. Neste estudo, conforme pode ser observado com mais detalhe no item 5.6, a produção mensal de material lenhoso também apresentou elevada variação espacial, comparativamente às folhas.

5.5 ESTOQUE DE CARBONO NA NECROMASSA LENHOSA GROSSA

A densidade básica da madeira da necromassa lenhosa grossa diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre as classes de decomposição avaliadas, sendo que a média da densidade na Classe 1 de decomposição foi superior àquela obtida na Classe 3 (Tabela 7). A diminuição da densidade com o avanço da decomposição corrobora o que é comumente observado em outros trabalhos (BOND-LAMBERTY; WANG; GOWER, 2002; PALACE *et al.*, 2007; GOUGH *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2010; OLAJUYIGBE *et al.*, 2011), e justifica o enquadramento das peças em classes de decomposição, uma vez que as diferenças na densidade influenciam no resultado da estimativa da massa e, conseqüentemente, do estoque de carbono.

TABELA 7 – DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA E TEOR DE CARBONO (\pm ERRO ABSOLUTO – $p < 0,01$) DA NECROMASSA LENHOSA GROSSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Classe de decomposição	Densidade (g.cm^{-3})	Teor de carbono (g.kg^{-1})
1 (sólida)	0,46a ($\pm 0,09$)	437,7a ($\pm 14,79$)
2 (intermediária)	0,35ab ($\pm 0,10$)	429,6a ($\pm 17,85$)
3 (altamente decomposta)	0,24b ($\pm 0,10$)	424,6a ($\pm 10,83$)

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

Há uma grande escassez de trabalhos publicados sobre estoque de necromassa lenhosa em Mata Atlântica. Os trabalhos desenvolvidos no país estão mais centrados na Amazônia (Ex: CHAMBERS *et al.*, 2000; KELLER *et al.*, 2004; RICE *et al.*, 2004; PALACE *et al.* 2007). Os valores de densidade da madeira morta obtidos neste estudo foram inferiores aos reportados no trabalho desenvolvido por Keller *et al.* (2004) e Palace *et al.* (2007) na Amazônia, mas foram semelhantes aos obtidos por Vieira *et al.* (2011) em um gradiente altitudinal de Floresta Ombrófila Densa no nordeste do estado de São Paulo (Tabela 8).

TABELA 8 – DENSIDADE BÁSICA DA NECROMASSA LENHOSA GROSSA (g.cm⁻³) EM ESTUDOS REALIZADOS NA AMAZÔNIA E NA MATA ATLÂNTICA

	Classe de decomposição	Mata Atlântica (São Paulo) ¹	Amazônia (Pará) ²	Amazônia (Mato Grosso) ³
1	Madeira sólida com folhas e/ou pequenos gravetos ainda presos	0,40	0,60	0,71
2	Madeira sólida com casca intacta, mas sem folhas ou galhos	0,30	0,70	0,69
3	Madeira sólida, com a casca já se desfazendo	0,22	0,58	0,60
4	Madeira podre, frágil e que pode ser quebrada se chutada	0,19	0,45	0,59
5	Madeira podre, frágil e que pode esfarelar ou ser facilmente quebrada se apertada com as mãos	0,14	0,28	0,33

¹ Vieira *et al.* (2011)² Keller *et al.* (2004)³ Palace *et al.* (2007)

A maior densidade básica da madeira observada na Amazônia possivelmente se deve entre outros fatores, a grande quantidade de espécies clímax nesse bioma em comparação à Mata Atlântica, espécies essas que possuem densidade da madeira mais elevada do que espécies pioneiras (CAVASSAN, 2012). Nogueira, Nelson e Fearnside (2005) atribuíram a menor densidade da madeira observada em uma floresta no sudoeste da Amazônia a abundância de espécies pioneiras e de espécies de rápido crescimento na área, em comparação as demais florestas do mesmo bioma.

A densidade básica da necromassa lenhosa observada neste estudo parece condizer com a densidade básica da madeira das espécies de maior valor de importância no fragmento estudado (Tabela 9).

TABELA 9 – DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE MAIOR VALOR DE IMPORTÂNCIA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Espécie	Valor de importância em 2011 (%) ⁽¹⁾	Densidade básica da madeira (g.cm ⁻³)	Características da madeira ⁽²⁾
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	28,1	0,55 ⁽²⁾	Leve, macia, pouco durável.
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & Mart.	9,9	0,59 ⁽²⁾	Moderadamente pesada, dura, de resistência média.
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk	5,1	-	Moderadamente pesada, dura, de boa durabilidade protegida de intempéries.
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	4,5	0,50 ⁽³⁾	Leve, mole e baixa durabilidade natural.
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	3,3	0,65 ⁽²⁾	Moderadamente pesada, dura
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	3,0	0,76 ⁽²⁾	Dura, textura média, média resistência e boa durabilidade
<i>Cinnamomum vesiculosum</i> (Nees & Mart.) Kosterm	2,9	-	-
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	2,8	-	Moderadamente pesada, dura, boa durabilidade natural.
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schltdl.) D.Dietr	2,5	0,69 a 0,76 ⁽³⁾	Madeira média a pesada, resistência moderada ao ataque de organismos xilófagos
<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni	2,5	0,57 ⁽²⁾	Moderadamente pesada, macia, pouco durável.
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	2,3	0,70 ⁽³⁾	Moderadamente pesada, baixa resistência e muito suscetível ao apodrecimento quando exposta a intempéries

Fonte: ¹Dalla Lana (2013); ²Lorenzi (2008); ³Carvalho (1994)

Dentre as espécies de maior valor de importância, segundo a caracterização de Lorenzi (2008), nenhuma possui madeira pesada. Algumas espécies apresentam madeira moderadamente pesada, mas na maioria dos casos são de baixa ou média resistência e durabilidade. A espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, de valor de importância bastante superior às demais espécies possui densidade média da madeira (entre 0,50 a 0,80 g.cm⁻³), seguindo a classificação de Ferraz *et al.* (2004) para espécies da Amazônia.

A densidade da madeira da necromassa lenhosa é um componente crucial na estimativa do estoque de carbono nesse componente (WOODALL; PERRY; WESTFALL, 2012), sendo, portanto necessária à realização de mais estimativas regionais.

Foi observada uma correlação significativa ($p < 0,05$) fraca entre o diâmetro tomado na metade do comprimento das peças e a densidade básica da madeira

($r = 0,39$), e também entre o diâmetro médio da peça e a densidade básica da madeira ($r = 0,36$), diferente de Palace *et al.* (2007), que não observaram correlação entre as variáveis citadas. Possivelmente, outras características/condicionantes podem exercer maior influência na densidade da madeira ao longo do processo de decomposição, como por exemplo, a espécie. Harmon *et al.* (2008) sintetizaram resultados publicados e não publicados da densidade da necromassa lenhosa de diferentes espécies em distintos estágios de decomposição nos Estados Unidos e observaram grande variação entre espécies, principalmente para as classes de material menos decompostas (de 0,25 a 0,95 g.cm⁻³), diminuindo a variação nas classes de decomposição mais avançadas.

A fragmentação também pode influenciar na densidade da madeira, pois Michalski, Nishi e Peres (2007), na Amazônia brasileira, observaram que fragmentos maiores mantiveram uma maior abundância de espécies com madeira de alta densidade enquanto em fragmentos pequenos e mais perturbados espécies com madeira de baixa densidade proliferaram rapidamente.

O teor de carbono não diferiu estatisticamente entre as três classes de decomposição (Tabela 7), e também não foi observada correlação significativa ($p > 0,05$) entre o teor de carbono e a densidade da madeira ($r = 0,07$). Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram valor similar de teor de carbono (421,1 g.kg⁻¹) em necromassa lenhosa em Floresta Estacional Semidecidual no Parque Nacional do Iguaçu, no Paraná. Vieira *et al.* (2011) obtiveram um teor de carbono de 470 g.kg⁻¹ no material menos decomposto e 451 g.kg⁻¹ no material mais decomposto em Floresta Ombrófila Densa na Serra do Mar em São Paulo.

Harmon *et al.* (2013) analisaram o teor de carbono de 60 espécies na biomassa e na necromassa lenhosa em distintos estágios de decomposição. As amostras eram oriundas de mais de 25 anos de coleta em diferentes locais nos Estados Unidos, México, e Rússia. Esses autores observaram que para as angiospermas não houve diferença estatística significativa entre as classes de decomposição, enquanto para as gimnospermas o teor de carbono tendeu a aumentar com o avanço dos estágios de decomposição.

Acredita-se que a diferença no teor de carbono entre estágios de decomposição não pôde ser observada devido à heterogeneidade de componentes (galhos e troncos) e espécies amostrados, que por sua vez, apresentam teores de carbono distintos. A realização de pesquisas futuras com um maior número de

amostras e que incluam a identificação das espécies poderão permitir uma análise mais acurada. Entretanto, há que se considerar que para inventários do estoque de carbono de âmbito regional ou nacional dificilmente será possível aplicar a classificação da necromassa lenhosa por espécie, sendo mais aplicável o conhecimento do teor médio das espécies. Segundo Harmon *et al.* (2013), embora a redução de incertezas pela aplicação de teores de carbono mais específicos possa ser pequena, isso leva a uma compreensão mais robusta da dinâmica da necromassa lenhosa grossa no ambiente florestal.

Considerando apenas o material acima de 10 cm de diâmetro, no inventário da necromassa dos remanescentes florestais de Santa Catarina obteve-se um volume total de 18,73 m³.ha⁻¹ de necromassa lenhosa grossa em Floresta Ombrófila Mista, 13,40 m³.ha⁻¹ em Floresta Estacional Decidual e 10,22 m³.ha⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa (CARDOSO *et al.*, 2012), valores inferiores aos obtidos neste estudo (Tabela 10).

TABELA 10 – VOLUME, MASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Classe de decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Massa (Mg.ha ⁻¹)	Estoque de carbono (Mg.ha ⁻¹)
1 (sólida)	9,47	4,34	1,90
2 (intermediária)	4,77	1,66	0,71
3 (altamente decomposta)	15,81	3,84	1,63
Total	30,05±17,56	9,84±6,24	4,24±2,69

FONTE: O autor (2015)

Deve-se considerar que devido à deposição e estoque de necromassa lenhosa grossa apresentar alta variabilidade de distribuição espacial, poderá incidir em erros amostrais elevados. A intensidade amostral do inventário de Santa Catarina foi de 131 unidades amostrais e 254 linhas em Floresta Ombrófila Mista sendo instaladas duas linhas de 10 metros de comprimento dispostas em forma de cruz no centro de cada unidade. Nesse inventário foi considerado como admissível um erro amostral de 15%, superior ao valor desejável de 10%, devido à heterogeneidade da variável analisada. Entretanto, ainda assim os erros obtidos foram superiores ao valor considerado admissível (CARDOSO *et al.*, 2012).

Os erros apontados no inventário da necromassa dos remanescentes florestais de Santa Catarina foram de 25,76% em Floresta Ombrófila Mista, 52,47%

em Floresta Estacional Decidual e 17,17% em Floresta Ombrófila Densa, sendo a alta variabilidade atribuída à ocorrência esparsa de material com diâmetro superior a 20 cm (CARDOSO *et al.*, 2012).

No presente estudo, por sua vez, obteve-se um erro amostral na estimativa do volume de madeira morta de 58,43% ao considerar cada sublinha de 10 metros como uma unidade amostral, resultando em 60 unidades.

Ribeiro *et al.* (2012) obtiveram um volume médio de 9,23 m³.ha⁻¹ de galhos e 17,87 m³.ha⁻¹ de troncos de árvores mortas no chão, que somados resultam em 27,1 m³.ha⁻¹, em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista com área de 9,5 hectares localizada no Campus III da Universidade Federal do Paraná (Curitiba), valor semelhante ao obtido neste estudo. No estudo desenvolvido por esses autores foram consideradas na amostragem todas as peças acima de 3 cm de diâmetro. Esses autores obtiveram um erro amostral baixo, considerando a variável amostrada (16%), mas aplicaram alta intensidade amostral, sendo 4 linhas de 15,71 m em cada um dos 40 conglomerados mensurados.

É possível observar que mais de 50% do volume de necromassa lenhosa grossa é composto por peças na Classe 3 de decomposição (Figura 22). No inventário de Santa Catarina foram obtidos resultados semelhantes, exceto em Floresta Estacional Semidecidual a qual apresentou mais de 70% do volume da Classe 3. Esse resultado era esperado, uma vez que, após a decomposição dos materiais mais facilmente degradáveis, o cerne, que é impregnado por substâncias como resinas e gomas (FERRI, 1999), se decompõe mais lentamente (SHORTLE; DUDZIK, 2012), permanecendo maior quantidade de material em estágio avançado de decomposição no piso florestal.

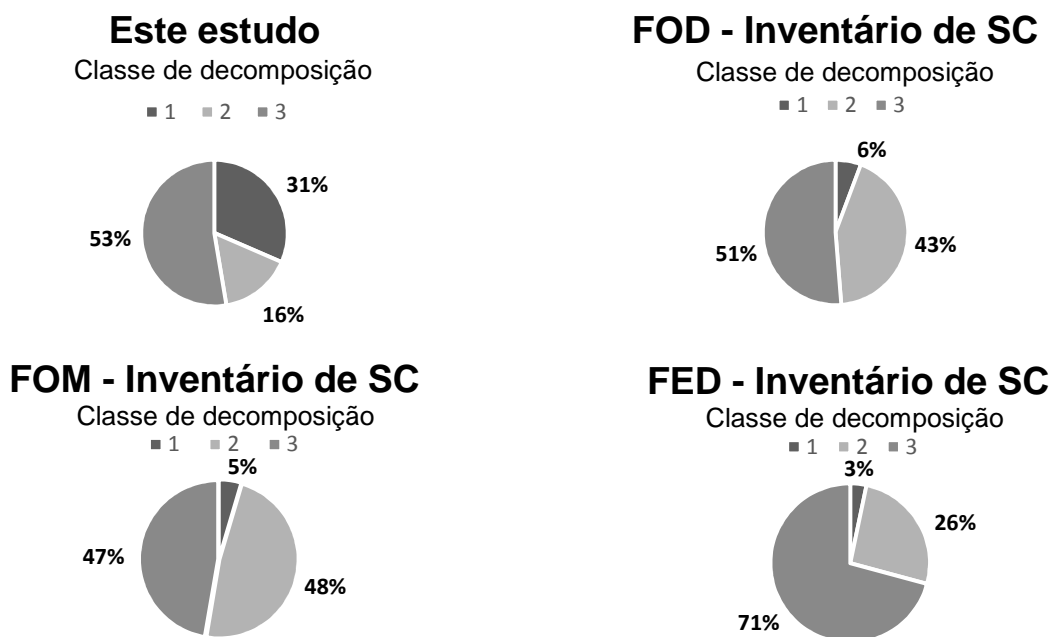


FIGURA 22 – COMPOSIÇÃO DO VOLUME DE NECROMASSA LENHOSA GROSSA POR CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR E DO INVENTÁRIO FLORESTAL DE SANTA CATARINA

NOTA: FOD – Floresta Ombrófila Densa; FOM – Floresta Ombrófila Mista; FED – Floresta Estacional Decidual; Classe 1: Sólida; Classe 2: Intermediária; Classe 3: Altamente decomposta; SC – Santa Catarina

FONTE: O autor (2015) e adaptado de Cardoso *et al.* (2012)

A exploração florestal também pode alterar as proporções de necromassa lenhosa grossa em cada classe de decomposição. Palace *et al.* (2007) observaram maior proporção de necromassa lenhosa nas classes menos decompostas em áreas com exploração de impacto reduzido, do que em áreas não perturbadas. No estudo desenvolvido por Palace *et al.* (2007), o corte havia sido realizado um ano antes da medição da necromassa lenhosa. Apesar de o remanescente florestal alvo deste estudo ter sofrido exploração seletiva no passado (LONGHI, 1980), a exploração de araucárias ocorreu antes de 1972 e a exploração da erva-mate em 1983 (SCHAAF, 2001), havendo tempo suficiente desde então para a completa decomposição da necromassa lenhosa que poderia ter sido deixado no piso florestal.

No presente estudo observou-se um percentual mais elevado de contribuição em volume de peças na Classe 1 de decomposição em comparação ao inventário de Santa Catarina para as três tipologias avaliadas (Figura 22). Esse fato pode ser explicado pela diferença metodológica no enquadramento das peças em cada classe de decomposição. No inventário de Santa Catarina a Classe 1 engloba somente

peças com características de recentemente depositadas, com presença de ramos e textura de madeira intacta. Neste trabalho, entretanto, para realizar o enquadramento das peças, essas eram golpeadas com facão e caso o mesmo não adentrasse facilmente no lenho, considerava-se como Classe 1, sendo portanto, independente da aparência externa da peça. Sendo assim, neste estudo mesmo peças que não haviam sido depositadas recentemente, mas que a madeira permanecia com elevada densidade foram enquadradas na Classe/Estágio 1 de decomposição.

São necessários mais estudos para avaliar a influência dessas diferenças metodológicas no resultado final do estoque de carbono, uma vez que a massa é calculada a partir da multiplicação do volume e densidade de cada classe. Ressalva-se que o método de classificação utilizado no inventário de Santa Catarina é o que consta no manual de campo do Serviço Florestal Brasileiro para a realização do Inventário Florestal Nacional, enquanto o adotado neste trabalho é o método sugerido pelo IPCC (2003).

A distribuição de frequência dos diâmetros das peças amostradas seguiu uma distribuição exponencial negativa, com maior número de peças de menores dimensões e poucas peças com diâmetros acima dos 30 cm (Figura 23). Ribeiro *et al.* (2012) obtiveram uma distribuição de frequência semelhante avaliando o estoque de necromassa de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Curitiba, mas com variações na frequência e na amplitude das classes diamétricas. Entretanto, neste estudo, peças com diâmetros acima de 20 cm contribuíram com 75% do volume e do estoque de carbono no compartimento necromassa lenhosa grossa. No inventário de Santa Catarina, o material com diâmetro acima de 20 cm contribuiu em média com 59% do volume de madeira morta estocado nos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista avaliados (CARDOSO *et al.*, 2012). A diferença ocorre possivelmente em função do estágio sucessional de cada fragmento, assim como do tamanho do fragmento e do tipo e grau de exploração sofridos no passado.

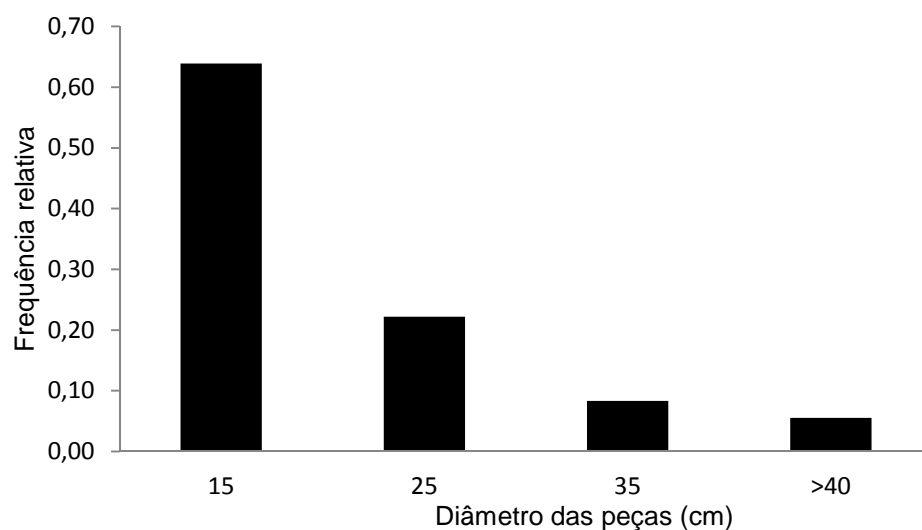


FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 FONTE: O autor (2015)

Apesar das diferenças metodológicas e a diferença no volume, o estoque de necromassa lenhosa grossa obtido neste estudo ($9,94 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foi semelhante à média encontrada em Floresta Ombrófila Mista no inventário de Santa Catarina, que foi de $7,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ao considerar apenas o material acima de 10 cm de diâmetro (CARDOSO *et al.*, 2012). Isso se deve possivelmente as densidades das classes de decomposição da necromassa adotadas no inventário de Santa Catarina, que são oriundas de estudo desenvolvido na Amazônia, sendo mais elevadas do que as observadas neste estudo.

Cardoso *et al.* (2012) obtiveram $4,30 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de necromassa lenhosa grossa em Floresta Estacional Decidual e $4,60 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa. Entretanto, Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram um estoque de $8,98 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Estacional Semidecidual considerando o material acima de 7,6 cm de diâmetro.

Diversos são os fatores que podem influenciar no estoque de necromassa lenhosa, como mortalidade (HARMON *et al.*, 1986) e taxa de decomposição (OLAJUYIGB *et al.*, 2011). No inventário realizado nos remanescentes florestais de Santa Catarina não foi encontrada correlação entre o peso da necromassa e variáveis geoclimáticas como latitude, longitude, altitude e temperatura média anual; ou estruturais da vegetação, como número de árvores e área basal, número de espécies arbóreas e altura do dossel (CARDOSO *et al.*, 2012).

O coeficiente de variação da estimativa do estoque de necromassa lenhosa grossa foi 63% ao considerar as seis linhas de 100 m cada dispostas nas três parcelas analisadas. Ao realizar a análise considerando cada sublinha de 10 m como uma unidade amostral o coeficiente de variação chega a 244%, devido ao maior número de unidades com valor 0, ou seja, sem necromassa lenhosa grossa. A elevada variação na distribuição espacial da necromassa lenhosa grossa é também reportada em outros estudos (BOND-LAMBERTY; WANG; GOWER, 2002; KELLER *et al.*, 2004). Segundo Currie e Naderhoffer (2002), devido à natureza estocástica e relacionada a distúrbios que a produção de necromassa lenhosa apresenta, aliado a variabilidade nas taxas de decomposição determinada pelas espécies, tamanho, e clima, o estoque de necromassa lenhosa varia amplamente mesmo em uma mesma tipologia florestal. No inventário florestal de Santa Catarina foram obtidos para a estimativa do volume coeficientes de variação de 229% em Floresta Estacional Decidual, 149% em Floresta Ombrófila Mista e 119% em Floresta Ombrófila Densa (CARDOSO *et al.*, 2012).

Em se tratando da análise do estoque de necromassa lenhosa grossa em fragmentos florestais, as diferenças obtidas entre fragmentos podem ocorrer devido ao tamanho do fragmento e localização das parcelas amostrais em relação à borda. Nascimento e Laurance (2006) observaram 40 a 60% menos necromassa lenhosa grossa estocada em floresta contínua, em comparação a fragmentos florestais. Na Amazônia Central brasileira também foram observadas maiores taxas de mortalidade de árvores grandes numa distância de até 300 m da borda, uma vez que essas árvores são mais vulneráveis ao desenraizamento, infestação por parasitas e dessecação (LAURANCE *et al.*, 2000).

Com relação ao estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa, Sanquetta *et al.* (2014) obtiveram 3,78 Mg.ha⁻¹ em Floresta Estacional Semidecidual, valor um pouco inferior ao obtido neste estudo (Tabela 10), no qual foi considerado o material acima de 10 cm de diâmetro. No Inventário de Santa Catarina a média do estoque de carbono foi de 3,75 Mg.ha⁻¹ em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, 2,04 Mg.ha⁻¹ em fragmentos de Floresta Estacional Decidual e 2,18 Mg.ha⁻¹ em Floresta Ombrófila Densa. Esses resultados foram obtidos a partir da multiplicação da massa do material acima de 10 cm pelo teor de carbono adotado nesse inventário, que foi de 475 g.kg⁻¹, valor sugerido por Magnussen e Reed (2004).

Neste estudo, ao somar o estoque de carbono da necromassa lenhosa fina ($1,50 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e da necromassa lenhosa grossa ($4,24 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foram obtidos $5,74 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Vieira *et al.* (2011) considerando o material acima de 2 cm de diâmetro obtiveram um estoque de carbono de $9,95 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, de $9,33 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa Submontana e $16,85 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa Montana.

Lu *et al.* (2010) obtiveram $5,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de estoque de carbono nas árvores e galhos mortos dispostos no piso de Floresta Tropical Estacional no Sudoeste da China ao considerar o material acima de 2 cm de diâmetro. Também em Floresta Tropical no Sudoeste da China $1,38 \text{ Mg.ha}^{-1}$ do estoque de carbono era oriundo da necromassa lenhosa (TANG *et al.*, 2012). Woodall e Liknes (2008) utilizaram os dados do inventário florestal dos Estados Unidos para calcular uma média do estoque de carbono na necromassa lenhosa por classes de latitude e obtiveram $3,88 \text{ Mg.ha}^{-1}$ na classe de latitude inferior a 33° .

Segundo o IPCC (2006) não há estimativas regionais atualmente disponíveis de estoque de carbono em necromassa lenhosa grossa, motivo pelo qual o órgão não apresenta valores *default* para esse compartimento. De acordo com o IPCC, dos trabalhos disponíveis apenas dois forneciam estimativas regionais baseadas em dados obtidos por amostragem em parcelas. Outro problema apontado é o número não representativo de unidades amostrais.

Conforme citado na Revisão Bibliográfica deste trabalho, boa parte dos países que reportam o estoque de carbono na necromassa a FAO (2010) não possuía dados nacionais e utilizou valores de referência (valores *default*) disponíveis no Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas do IPCC (IPCC, 2003). Segundo o próprio IPCC (2003), esses valores são empregáveis para comparação entre modelos, mas não são apropriados para serem utilizados como *default*. Sendo assim, no Guia de Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, publicado em 2006, o IPCC decidiu omitir os valores *default* de estoque de carbono para necromassa lenhosa devido à baixa quantidade de dados regionais disponíveis.

5.6 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E RETORNO DE CARBONO PARA O PISO FLORESTAL

O teor médio ponderado da serapilheira produzida foi de 461,01 g.kg⁻¹. O teor mais elevado de carbono nos ramos aciculados na serapilheira produzida é semelhante ao encontrado nessa mesma fração na serapilheira acumulada no piso florestal (Tabela 11). Conforme já discutido anteriormente neste trabalho, a madeira da araucária possui grande quantidade de lignina (MATTOS *et al.*, 2006), a qual possui elevado teor de carbono (RAGAN *et al.*, 2011), maior do que o contido na celulose ou hemicelulose (HARMON *et al.*, 2013), o que pode justificar o elevado teor de carbono na serapilheira produzida pela araucária.

TABELA 11 – TEOR DE CARBONO NAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA PRODUZIDA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Fração	Teor de carbono (g.kg ⁻¹)	
Ramos aciculados de araucária	469,1	a
Folhas	459,6	ab
Casca	456,0	abc
Material lenhoso de até 2 cm de diâmetro	452,4	bc
Material reprodutivo	447,0	cd
Miscelânea	441,3	d

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

Com relação ao teor observado nas folhas em relação às demais frações, Weber *et al.* (2009), analisando o teor de carbono em diferentes porções (casca, fuste, folha, galho vivo, galho morto e miscelânea) de seis espécies nativas de Floresta Ombrófila Mista, observaram que as folhas sempre concentravam os maiores teores de carbono.

A média da produção estacional de serapilheira no primeiro ano de avaliação foi estatisticamente inferior à obtida no segundo ano apenas nas estações verão e inverno (Figura 24). A média da produção total de serapilheira no primeiro ano de avaliação (5,35 Mg.ha⁻¹) foi estatisticamente inferior à média obtida no segundo ano (7,07 Mg.ha⁻¹). Apesar da diferença observada nas médias da produção de serapilheira na primavera entre 2012 (1,96 Mg.ha⁻¹) e 2013 (2,49 Mg.ha⁻¹), não foi constatado diferença estatística significativa, possivelmente devido à influência da alta variação na produção em 2012. A variação foi especialmente observada na

fração ramos aciculados, que nessa estação apresentou um desvio padrão de $1,20 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em relação à média produzida de $0,94 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Situações episódicas como a queda de uma árvore de grandes dimensões podem ter influenciado na variação observada nessa fração.

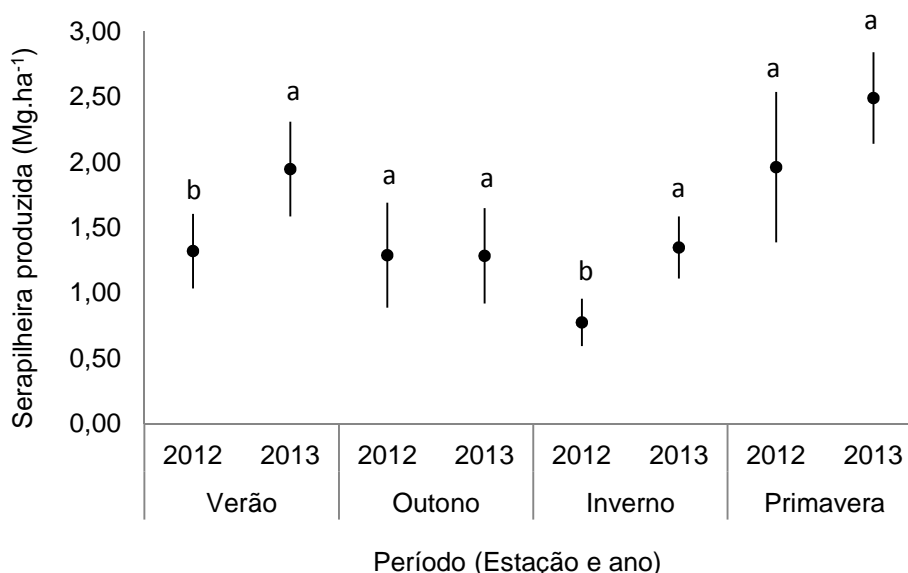


FIGURA 24 – MÉDIA E ERRO ABSOLUTO DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA POR ANO E ESTAÇÃO (Mg.ha^{-1}) E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pela Anova

FONTE: O autor (2015)

O retorno de carbono para o piso florestal via serapilheira também foi maior no segundo ano de avaliação apenas no verão e no inverno (Figura 25). Foi observada diferença significativa entre a média do retorno de carbono via serapilheira no ano de 2012 ($2,46 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e 2013 ($3,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$). A quantidade de carbono presente na serapilheira produzida representa parte da perda do carbono presente na biomassa acima do solo, mas não representa o que irá efetivamente ser estocado no solo, tendo em vista que parte desse carbono retorna para a atmosfera pela respiração heterotrófica dos decompositores da serapilheira e da matéria orgânica do solo (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). Estudos que envolvam o retorno do carbono para a atmosfera e a quantidade efetivamente estocada no solo são úteis para uma análise mais aprimorada da dinâmica do carbono florestal.

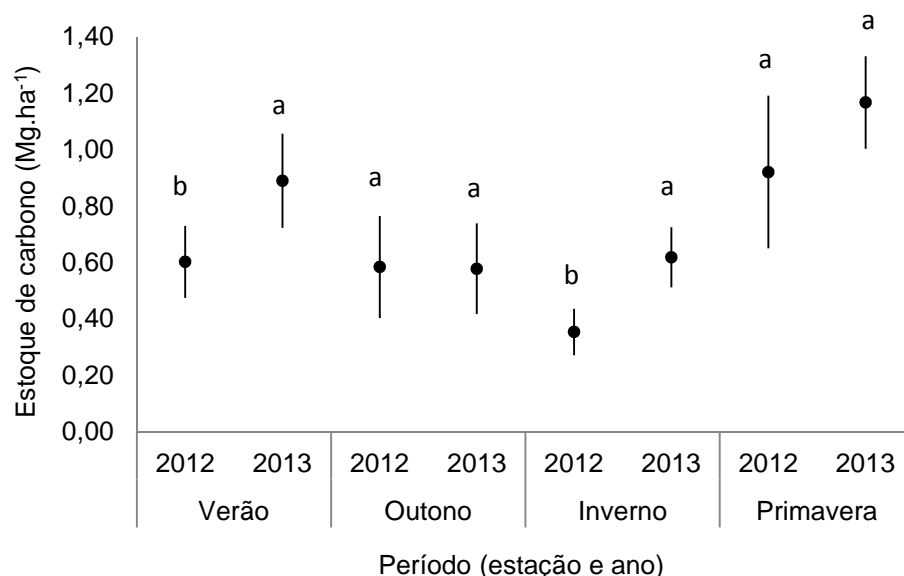


FIGURA 25 – MÉDIA E ERRO ABSOLUTO DO RETORNO DE CARBONO VIA SERAPILHEIRA POR ANO E ESTAÇÃO (Mg.ha⁻¹) E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pela Anova
 FONTE: O autor (2015)

Foi observada diferença significativa na produção de galhos entre o verão do ano de 2012 e de 2013 (Figura 26), o que possivelmente refletiu na maior produção de serapilheira nessa estação em 2013. Apesar de não apresentar diferença estatística significativa, a produção de ramos aciculados também foi maior no verão do ano de 2013 (Figura 31). Essas duas frações somadas contribuem em média com 53% da serapilheira produzida.

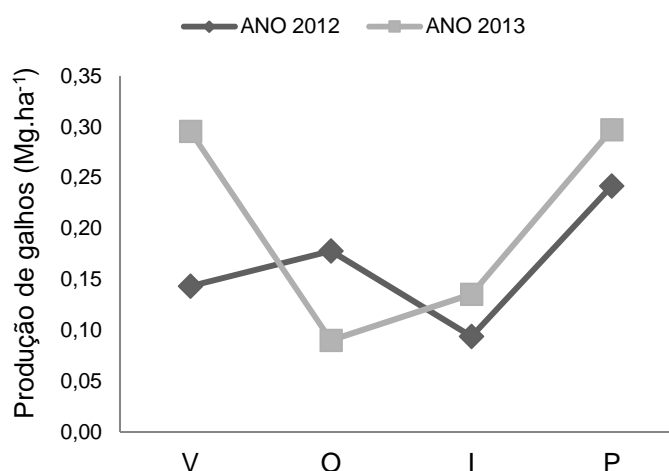


FIGURA 26 – PRODUÇÃO ESTACIONAL DE GALHOS NOS DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 NOTA: V – Verão; O – Outono; I - Inverno; P - Primavera
 FONTE: O autor (2015)

Embora não tenha sido observada correlação significativa ($p > 0,05$) entre a produção de galhos e a velocidade do vento, a produção total de serapilheira apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com essa variável meteorológica ($r = 0,58$). No verão de 2013 a velocidade do vento foi mais elevada do que no mesmo período de 2012, o que pode ter influenciado no resultado (Figura 27). A morte e queda de uma ou poucas árvores de maiores dimensões também influencia a maior deposição. Jönsson, Fraver e Jonsson (2011) observaram que eventos episódicos influenciam muito na queda de árvores. Durante a queda, pode ocorrer o arraste de material aumentando a produção de pequenos galhos. No estudo desenvolvido por Köhler, Hölscher e Leuschner (2008) em Floresta Secundária Altomontana a queda de galhos foi bastante dependente de ventos fortes ocasionais.

No inverno, foi observada maior quantidade de folhas produzidas em 2013 (Figura 31), e apesar de não significativa estatisticamente essa diferença pode ter influenciado na maior produção total de serapilheira no inverno de 2013. Apesar de a produção de folhas em 2013 não ter demonstrado correlação significativa com a temperatura ($p > 0,05$), é possível observar que em 2013 o inverno apresentou temperatura mínima absoluta abaixo de 0°C nos meses de julho e agosto (Figura 27), e a exposição a temperaturas abaixo de $0,5^{\circ}\text{C}$ induz a necrose das folhas prejudicando a fotossíntese (PALLARDY, 2008), o que pode ter levado a maior perda foliar no período analisado.

A diferença na quantidade de serapilheira produzida entre os anos avaliados (2012 e 2013) também pode ter sido influenciada pela mudança no método empregado nas coletas. Em 2012 as coletas de serapilheira produzida foram realizadas ao final de cada estação, e pode ter ocorrido perda de material durante o período que antecedia cada coleta, devido a fragmentação ocorrida no processo de decomposição, enquanto em 2013 as coletas foram realizadas mensalmente.

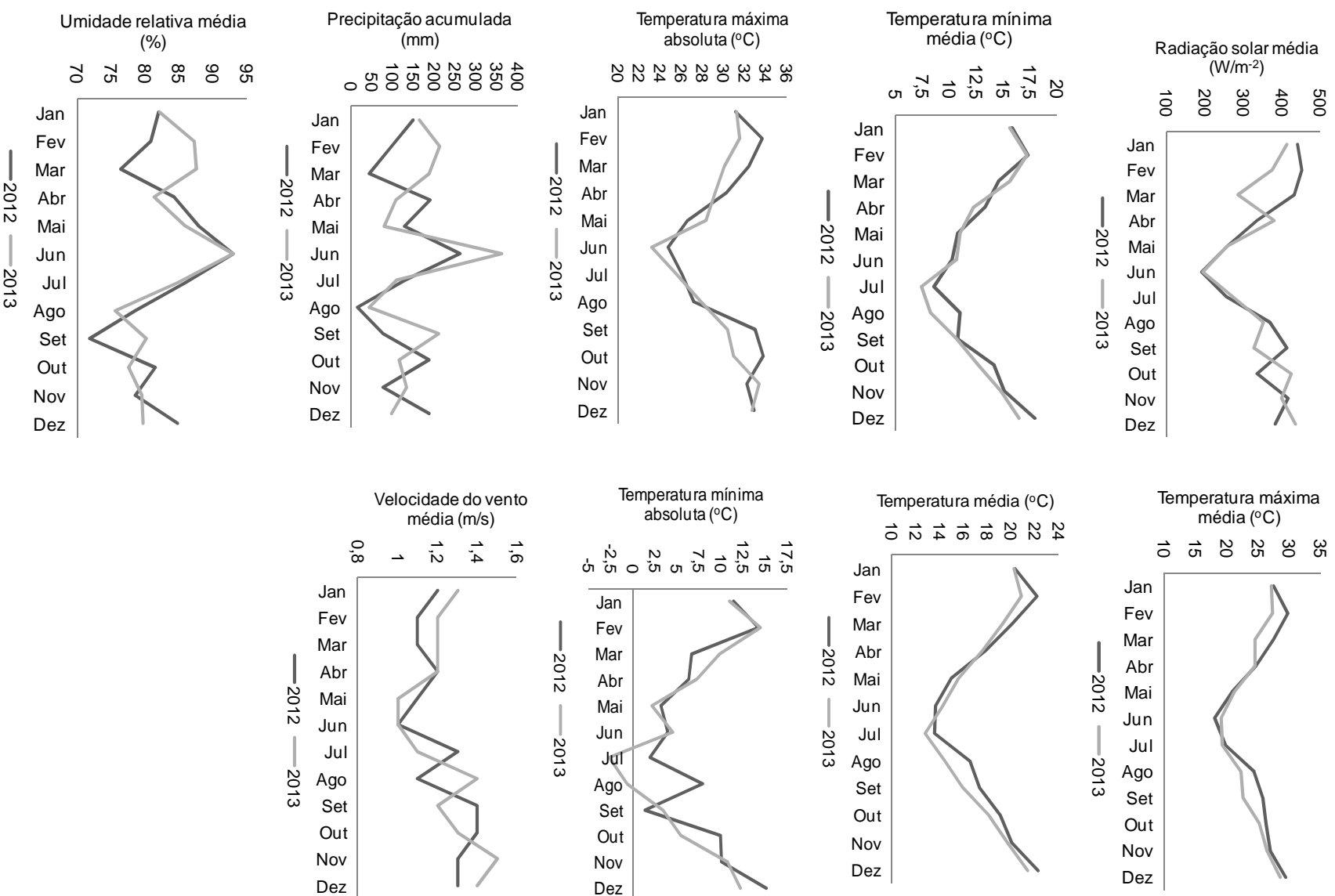


FIGURA 27 – VARIAÇÃO MENSAL DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DURANTE OS ANOS DE 2012 E 2013
Fonte: SIMEPAR/Estação Meteorológica de Fernandes Pinheiro

A média da produção de serapilheira entre os dois anos avaliados foi de $6,21 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, semelhante à obtida por Britez *et al.* (1992) de $6,53 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Mista em São Mateus do Sul, PR. De acordo com Britez *et al.* (1992), o valor obtido encontra-se entre os limites esperados ($6,0$ a $8,0 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para a latitude de $25^{\circ}52'S$, segundo as estimativas feitas por Bray e Gorham (1964), que observaram uma relação linear entre a produção de serapilheira e a latitude em função da temperatura e quantidade de insolação recebida. A média da produção de serapilheira também foi semelhante à obtida por Figueiredo Filho *et al.* (2005) de $6,33 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Mista em Irati, PR. Em trabalho realizado por Figueiredo Filho *et al.* (2003) na mesma área deste estudo, obteve-se uma média de $7,73 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de produção de serapilheira, sendo que nos dois anos avaliados a produção foi superior a 7 Mg.ha^{-1} .

Conforme pode ser observado na Figura 28, a primavera foi a estação que apresentou a maior deposição de serapilheira total nos dois anos avaliados. Embora não tenha sido observada diferença estatística entre as demais estações no primeiro ano de avaliação, no segundo ano o verão apresentou maior produção em relação ao outono e inverno.

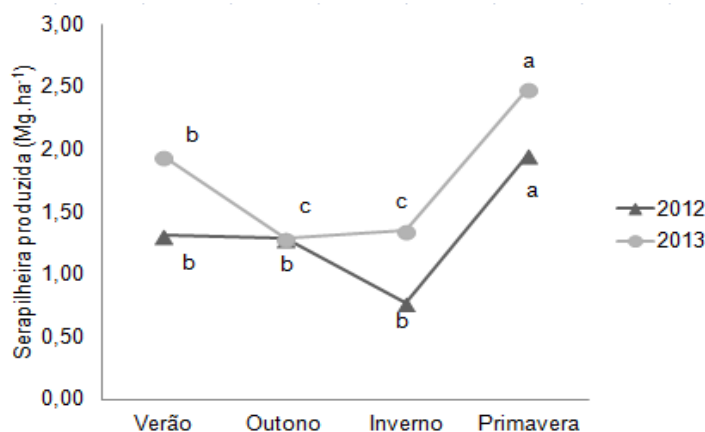


FIGURA 28 – PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA TOTAL (Mg.ha^{-1}) POR ESTAÇÃO PARA OS DOIS ANOS AVALIADOS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%.

FONTE: O autor (2015)

A maior produção de serapilheira na primavera também foi observada em outros estudos em Floresta Ombrófila Mista (BRITEZ *et al.*, 1992; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2005), podendo ser resultado da substituição de estruturas adultas total

ou parcialmente envelhecidas por folhas novas como consequência do intenso crescimento primaveril (BACKES; PRATES; VIOLA, 2005).

A maior produção de serapilheira no verão de 2013 foi impulsionada pela alta produção de galhos e ramos aciculados no período. Essas duas frações apresentaram correlação moderada e alta ($p < 0,05$) com o aumento da temperatura. A fração galhos apresentou correlação alta com a temperatura máxima média ($r = 0,71$) e com a temperatura média ($r = 0,72$) e moderada com a temperatura máxima absoluta ($r = 0,58$).

A fração ramos aciculados apresentou correlação significativa alta ($p < 0,05$) com a temperatura máxima média ($r = 0,74$) e temperatura média ($r = 0,74$) e moderada com a temperatura máxima absoluta ($r = 0,62$). Antoneli e Francisquini (2014), em Floresta Ombrófila Mista em Irati/PR, obtiveram alta produção de galhos no verão e atribuíram às características das precipitações que geralmente estão associadas a ventos mais fortes nessa época do ano. Esses autores também observaram que após os períodos mais frios havia maior produção de galhos/ramos, que poderia ser atribuída ao efeito tardio do período mais frio que influencia na derrubada das folhas o qual promove a secagem da ponta dos ramos onde as folhas se encontravam.

Em pesquisa desenvolvida na mesma área de estudo, mas em período distinto, assim como em trabalho realizado em Floresta Ombrófila Mista em Irati/PR, considerando a média entre os anos avaliados, a primavera se mantém como a estação de maior deposição de serapilheira total (Figura 29). As médias estacionais dos dois anos de avaliação deste estudo se assemelham as obtidas por Figueiredo Filho *et al.* (2003) na mesma área, exceto no inverno. Neste estudo, na referida estação, a média obtida foi a menor entre as demais, enquanto no trabalho desenvolvido por Figueiredo Filho *et al.* (2003) a média no inverno foi mais elevada, se assemelhando a obtida na primavera. As médias estacionais da serapilheira neste estudo também se assemelham às obtidas por Figueiredo Filho *et al.* (2005) em Irati, no Paraná.

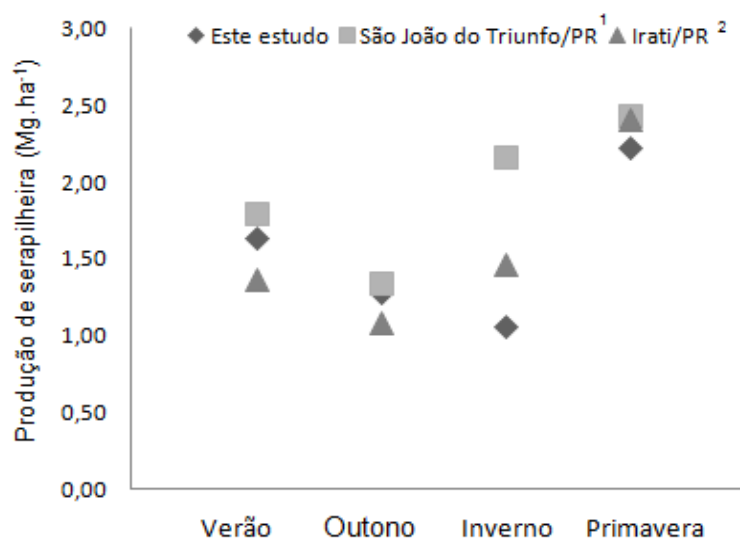


FIGURA 29 – MÉDIA DE DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA TOTAL (Mg.ha⁻¹) POR ESTAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A OUTROS ESTUDOS

FONTE: ¹ Figueiredo Filho *et al.* (2003) ² Figueiredo Filho *et al.* (2005)

Ao analisar a deposição estacional de serapilheira por ano de avaliação (Tabela 12) observa-se que pode haver uma considerável alteração na quantidade deposta na mesma estação de um ano para o outro, podendo chegar a quase o dobro do valor, como observado no verão por Figueiredo Filho *et al.* (2005). Neste trabalho, a maior diferença em termos absolutos foi observada no verão com 0,63 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ de diferença entre os anos. No trabalho desenvolvido por Figueiredo Filho *et al.* (2003) na mesma área deste estudo a maior diferença foi observada no outono com 0,70 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ de diferença entre os anos.

TABELA 12 – PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA (Mg.ha⁻¹) POR ESTAÇÃO DO ANO EM DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A OUTROS ESTUDOS

Local	Ano de avaliação	Total anual	V	O	I	P	Autor
São João do Triunfo, PR	1º	5,35	1,32	1,29	0,77	1,96	O autor (2015)
	2º	7,07	1,95	1,28	1,35	2,49	
	Média	6,21	1,63	1,29	1,06	2,23	
São João do Triunfo, PR	1º	7,99	1,53	1,69	2,25	2,52	Figueiredo Filho <i>et al.</i> (2003)
	2º	7,48	2,07	0,99	2,08	2,34	
	Média	7,74	1,80	1,34	2,16	2,43	
Irati, PR	1º	5,41	0,94	0,91	1,48	2,07	Figueiredo Filho <i>et al.</i> (2005)
	2º	7,25	1,80	1,26	1,45	2,74	
	Média	6,33	1,37	1,08	1,47	2,41	

NOTA: V – Verão; O – Outono; I – Inverno; P - Primavera

FONTE: O autor (2015); Figueiredo Filho *et al.* (2003) e Figueiredo Filho *et al.* (2005)

As diferenças interanuais na deposição de serapilheira podem estar associadas, entre outros fatores, a variações das características meteorológicas entre os anos avaliados (Figura 27).

A serapilheira total produzida em 2013 apresentou correlação positiva ($p < 0,05$) forte ($r = 0,76$) com a temperatura máxima absoluta. O aumento da temperatura resulta em aumento da transpiração, sendo que a taxa fotossintética declina sob condições de estresse hídrico, uma vez que a perda de turgescência pelas células estomáticas e consequente fechamento estomático causa diminuição das trocas gasosas afetando diretamente a produtividade das plantas (VIEIRA *et al.*, 2010).

Não foi observada correlação significativa entre a produção total de serapilheira e a umidade relativa do ar ($p > 0,05$). Houve correlação significativa forte ($p < 0,05$) entre a umidade relativa do ar e a produção de folhas ($r = -0,83$).

Contribuição das frações na serapilheira depositada

Conforme pode ser observado na Figura 30, a fração ramos aciculados da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze constituiu a fração mais representativa na composição da serapilheira produzida, seguida pela fração folhas.

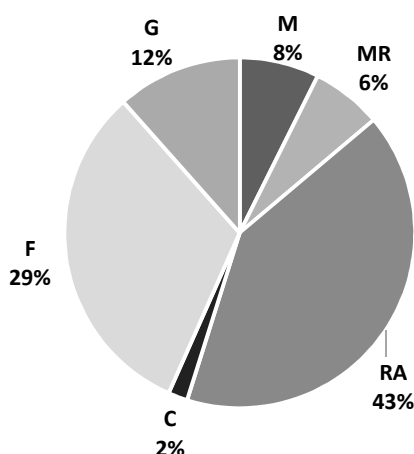


FIGURA 30 – CONTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DA SERAPILHEIRA PRODUZIDA (MÉDIA DOS DOIS ANOS AVALIADOS) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

NOTA: F: folhas; RA: ramos aciculados de araucária; G: ramos e galhos de até 2 cm de diâmetro; MR: material reprodutivo; C: casca; M: Miscelânea.

FONTE: O autor (2015)

Backes, Prates e Viola (2005), em Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, obtiveram uma produção média anual de serapilheira de $10,3 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo 59% do material oriundo da araucária, 33,9% de folhas de espécies latifoliadas, 7,08% por cascas, líquens, musgos e miscelânea. Nesse estudo, considerou-se como material oriundo da araucária as acículas, ramos e estruturas reprodutivas.

Figueiredo Filho *et al.* (2005), em Floresta Ombrófila Mista em Irati, PR, obtiveram uma contribuição de 15,64% de galhos de araucária e 4,34% de acículas, enquanto a fração folhas correspondeu a 41,70% da produção. Longhi *et al.* (2011), em Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, RS, observaram que 54% da serapilheira produzida era composta por ramos aciculados da araucária.

As diferenças nos percentuais de contribuição do material oriundo da araucária na serapilheira produzida entre fragmentos de Floresta Ombrófila Mista podem ser atribuídas parcialmente às diferenças na exploração dessa espécie no passado, resultando em uma maior ou menor contribuição na estrutura dos fragmentos, o que também reflete na contribuição de material na serapilheira produzida. Diferenças climáticas entre os anos de avaliação dos estudos citados também podem ter influenciado nas diferenças observadas.

Ao analisar as frações individualmente, algumas tendências de produção estacionais semelhantes entre os anos avaliados podem ser observadas (Figura 31). A miscelânea apresentou uma tendência de produção estacional muito semelhante

entre os anos, com maior produção na primavera e verão. Essa fração representa alguns materiais que não se incluíam na classificação de fração proposta, tais como pêlos, penas e fezes de animais, além de material bastante fragmentado, o qual não era possível identificar.

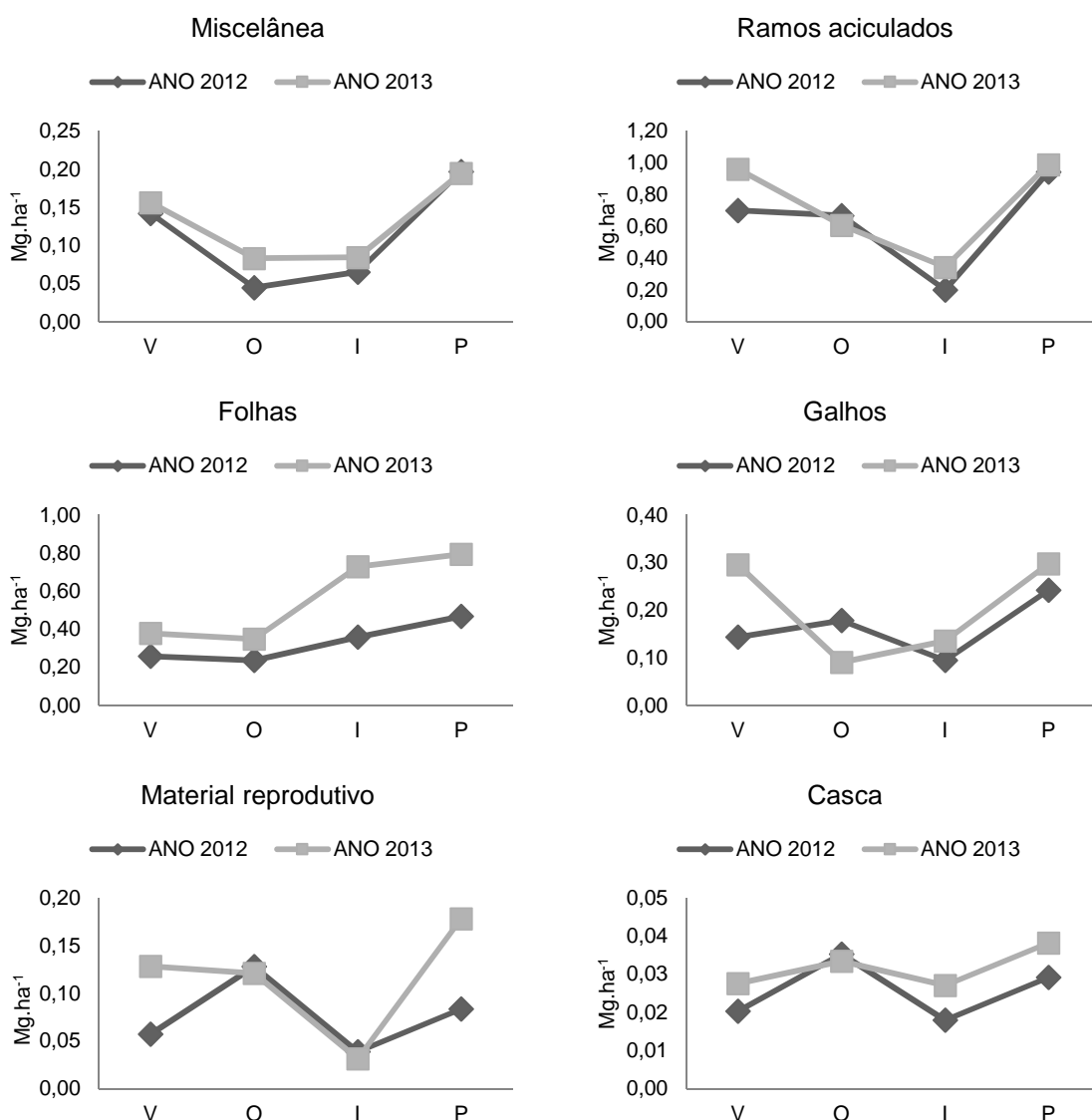


FIGURA 31 – PRODUÇÃO DAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA POR ESTAÇÃO DO ANO EM DOIS ANOS DE AVALIAÇÃO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR
 NOTA: V – VERÃO; O – OUTONO; I: INVERNO; P: PRIMAVERA
 FONTE: O autor (2015)

Consta no Apêndice 2 deste trabalho uma tabela com os valores de produção de serapilheira por fração e por estação para os dois anos de avaliação. São raros os trabalhos de produção de serapilheira em Floresta com Araucária, principalmente considerando as frações produzidas.

Backes, Prates e Viola (2005), estudando a produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula no Rio Grande do Sul, observaram que a queda de folhas e acículas aumentou significativamente durante a primavera. Nesse estudo, a produção de acículas e de ramos de araucária obedeceu a um ciclo com o máximo durante a primavera, decrescendo progressivamente até o inverno, durante o qual foi registrada a menor produção. As coníferas mantêm as suas folhas durante o inverno, perdendo apenas uma porção das folhas de cada vez (CHAPMAN; REISS, 1999).

Segundo Chapman e Reiss (1999), para reduzir a evapotranspiração as folhas de coníferas de zonas boreais são em forma de agulha e possuem cutículas espessas que demandam energia para serem produzidas. Por isso as plantas não perdem suas folhas/acículas na primavera, mantendo-as o máximo de tempo possível, o que não foi observado neste estudo, uma vez que houve alta deposição de ramos aciculados na primavera. Isso se deve possivelmente entre outros fatores à alta correlação ($p < 0,05$) entre a produção de ramos aciculados e as temperaturas média ($r = 0,74$), e máxima média ($r = 0,74$). As temperaturas na primavera observadas em clima subtropical são mais elevadas do que as observadas em clima boreal.

Com relação ao material lenhoso as chuvas ocorridas após o período de estresse hídrico do inverno podem ter influenciado na maior deposição observada na primavera. Segundo Vidal *et al.* (2007), as primeiras chuvas fortes após a estação seca promovem a queda de muitos ramos secos, que ainda permaneciam unidos à planta.

Assim como a serapilheira total, os picos de produção do material reprodutivo também ocorreram durante a primavera e verão em 2013. Mas em 2012 os picos de produção foram na primavera e outono. Não foi observada correlação significativa entre a produção de material reprodutivo e as variáveis meteorológicas analisadas ($p > 0,05$). Segundo Dickow *et al.* (2012), a comparação dos resultados referentes à produção de material reprodutivo na serapilheira com outros encontrados na literatura torna-se complexa, em razão de uma grande variação natural na deposição dessas frações e às diferentes formas de amostragem e triagem utilizadas.

A alta produção de folhas no inverno se deve possivelmente, entre outros fatores à seca fisiológica que, segundo Backes, Prates e Viola (2005), é determinada por temperaturas negativas ou muito próximas a 0°C. Essa hipótese é reforçada pela

alta correlação negativa ($p < 0,05$) observada neste estudo entre a produção de folhas e a umidade relativa do ar ($r = -0,83$). Com o ar seco a transpiração ocorre mais rapidamente (VIEIRA *et al.*, 2010), que aliada à dificuldade de obtenção de água por meio do solo, devido às baixas temperaturas, pode levar a planta a um estresse hídrico.

A temperatura mínima média ($r = -0,20$) e a temperatura mínima absoluta ($r = -0,20$) não apresentaram correlação significativa ($p > 0,05$) com a produção de serapilheira foliar, indicando que a baixa umidade relativa do ar, que apresentou correlação negativa ($r = -0,83$) pode ter exercido maior influência na maior deposição de folhas ocorrida durante o inverno do que a baixa temperatura em si.

A velocidade do vento também apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com a produção de folhas ($r = 0,61$) e com a produção total ($r = 0,58$) de serapilheira. Outros autores já observaram a ação mecânica dos ventos na produção de serapilheira (PINTO *et al.*, 2008; KÖHLER; HÖLSCHER; LEUSCHNER, 2008).

Godinho *et al.* (2013), em Floresta Estacional Semidecidual em Cachoeiro de Itapemirim-ES, observaram que as folhas apresentaram um comportamento semelhante ao obtido para a deposição da serapilheira total, permitindo o emprego dessa fração como indicador da produção de serapilheira. Neste estudo, entretanto, o comportamento da serapilheira total parece ser mais influenciado pela deposição de ramos aciculados e galhos, que apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) alta ($r = 0,89$ e $0,83$ respectivamente) com a produção total de serapilheira, enquanto a correlação com a produção de folhas ($r = 0,27$) não foi significativa ($p > 0,05$). Ao analisar a estacionalidade da produção de folhas individualmente (Figura 31), observa-se que se assemelha a de Floresta Estacional (PINTO *et al.*, 2008; GODINHO *et al.*, 2013).

Não foi observada correlação ($p > 0,05$) entre a precipitação e a produção de serapilheira, diferente de Figueiredo Filho *et al.* (2005) que observaram maior correlação entre essas variáveis ($r = 0,61$), do que em relação as temperaturas máxima ($r = 0,21$) média ($r = 0,20$) e mínima ($r = 0,16$). É necessário considerar que a estação meteorológica de origem dos dados utilizados neste trabalho está localizada a cerca de 40 km do município de São João do Triunfo. Segundo Antoneli e Francisquini (2014) a região de Irati, localizada a cerca de 40 km de São João do Triunfo, possui a característica de apresentar chuvas convectivas no verão. Chuvas produzidas por processos convectivos tendem a ser muito mais localizadas e

intensas do que chuvas frontais, e como resultado, em áreas onde chuvas convectivas prevalecem, a precipitação é altamente variável no espaço, confinada em células da ordem de 10 a 50 km ou menos podendo a precipitação mensal de dois lugares a poucos quilômetros de distância ser bastante diferente (OLIVER, 2005).

No caso de uso de valores médios mensais de variáveis meteorológicas para identificar possíveis influências na variação da deposição de serapilheira, a ocorrência de fatores extremos como tempestades pode modificar pouco a média mensal das variáveis, mas podem acarretar em um aumento acentuado na deposição de serapilheira naquele período, influenciando, nesses casos, a análise de correlação (ANTONELI; FRANCISQUINI, 2014).

É necessário considerar que vários fatores bióticos e abióticos afetam a produção de serapilheira, tais como o tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, luminosidade, relevo, deciduidade, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e características do solo, e dependendo das características de cada ecossistema, um determinado fator pode prevalecer sobre os demais (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2005).

Christensen (1975) observou que a queda de galhos de 10 a 30 mm de diâmetro foi descontinuamente distribuída no espaço e no tempo. A deposição de ramos ocorre em resposta a eventos bióticos e abióticos anteriores à sua deposição, sendo que os eventos bióticos, geralmente, levam a respostas postergadas por um período maior de tempo, enquanto os eventos abióticos geram respostas imediatas à causa, como danos físicos causados por quedas de árvores, ação das chuvas, queda de raios e ventos fortes (PINTO *et al.*, 2008).

Contribuição das espécies na serapilheira foliar produzida

O somatório da deposição das 10 espécies de maior produção de serapilheira foliar representa cerca de 48% da produção de folhas do ano (Tabela 13).

TABELA 13 – DEZ ESPÉCIES DE MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA SERAPILHEIRA FOLIAR PRODUZIDA NO ANO DE 2013 (kg.ha⁻¹) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

	Espécie	Produção foliar (kg.ha ⁻¹)
1	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk	218,41
2	<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & Mart.	187,62
3	<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni	137,86
4	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	130,22
5	<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees. & Mart.) Kosterm	75,91
6	<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	71,01
7	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	70,73
8	<i>Bauhinia forficata</i> Link	63,27
9	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	52,56
10	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	40,23
Somatório das 10 espécies		1.047,83

NOTA: A araucária não está incluída na lista, pois sua contribuição foi avaliada pela produção da fração nomeada como ramos aciculados.

FONTE: O autor (2015)

Das 10 espécies com maior produção de serapilheira foliar, 7 estão entre as espécies de maior valor de importância no fragmento estudado (Tabela 14).

TABELA 14 – ESPÉCIES DE MAIOR VALOR DE IMPORTÂNCIA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM 2011

Espécie	Valor de importância em 2011 (%)
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	28,1
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & Mart. *	9,9
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk *	5,1
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil. *	4,5
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso *	3,3
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	3,0
<i>Cinnamomum vesiculosum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	2,9
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg *	2,8
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schltdl.) D.Dietr.	2,5
<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni *	2,5
<i>Casearia decandra</i> Jacq. *	2,3

FONTE: Dalla Lana (2013)

Obs. As espécies com asterisco são as que apresentaram maior produção de folhas na serapilheira em 2013; A araucária não está incluída, pois sua contribuição foi avaliada pela produção da fração nomeada ramos aciculados.

No estudo desenvolvido por Schumacher *et al.* (2011) em Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, as espécies *Matayba elaeagnoides* Radlk e

Nectandra megapotamica (Spreng.) Mez também estiveram entre as espécies de maior contribuição na deposição de folhas.

A deposição de folhas das espécies *Matayba elaeagnoides* Radlk ($r = -0,64$), *Nectandra grandiflora* Nees & Mart. ($r = -0,61$), *Capsicodendron dinisii* (Schwacke) Occhioni ($r = -0,69$) e também de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez ($r = -0,68$) apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) com a umidade relativa média do ar. Também foi observada alta correlação entre a produção total de folhas e a umidade relativa ($r = -0,83$).

A deposição de folhas das espécies *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg e *Bauhinia forficata* Link apresentaram correlação negativa significativa ($p < 0,05$) com a temperatura mínima média ($r = -0,58$ e $-0,72$, respectivamente) e temperatura mínima absoluta ($r = -0,58$ e $-0,69$, respectivamente), apesar de não ser observada correlação entre a deposição da fração foliar com essas variáveis meteorológicas.

A radiação solar média apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com a produção de folhas das espécies *Nectandra grandiflora* Nees & Mart. ($r = 0,59$), *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso ($r = 0,64$) e *Cinnamomum sellowianum* (Nees & Mart.) Kosterm. ($r = 0,76$) e correlação negativa com a produção de folhas de *Casearia decandra* Jacq. ($r = -0,63$). Com o excesso de luminosidade pode ocorrer à foto-inibição da fotossíntese (ADIR *et al.*, 2003), de tal modo que a taxa de fixação de carbono decresce com a intensidade de radiação crescente, além da possibilidade da intensidade alta de radiação levar a um superaquecimento perigoso as plantas (BEGON; TOWSEND; HARPER, 2006). Por outro lado, em condições de baixa intensidade de radiação a fotossíntese pode se encontrar abaixo do ponto de compensação luminoso (VIEIRA *et al.*, 2010), quando a atividade respiratória supera a atividade fotossintetizante.

A espécie *Cinnamomum sellowianum* (Nees & Mart.) Kosterm. foi a única que apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com a temperatura máxima média ($r = 0,72$), temperatura média ($r = 0,64$) e temperatura máxima absoluta ($r = 0,72$), variáveis que não apresentaram correlação com a produção total de folhas. Essa espécie também foi a única a apresentar correlação significativa ($p < 0,05$) positiva com a velocidade do vento ($r = 0,75$). Os resultados indicam que os padrões fenológicos das espécies são influenciados por diferentes variáveis meteorológicas, e a análise de correlação da fração foliar como um todo pode ocultar os efeitos

individuais. Contudo, apesar das correlações aqui observadas é importante lembrar que a abscisão dos tecidos foliares é determinada por diversos fatores, e o estabelecimento de padrões de deposição baseados em apenas um ou poucos fatores deve ser visto com cautela (GODINHO *et al.*, 2013).

5.7 DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

O coeficiente de decomposição da serapilheira (Tabela 15) foi semelhante ao obtido por Backes, Prates e Viola (2005) em remanescente de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, no Rio Grande do Sul (0,86). O tempo de meia vida obtido por esses autores foi de 316 dias.

TABELA 15 – COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO (k), TEMPO MÉDIO DE RENOVAÇÃO DA SERAPILHEIRA (1/k), TEMPO PARA A DECOMPOSIÇÃO DE 50% ($t_{0,5}$) E TEMPO PARA A DECOMPOSIÇÃO DE 95% DA SERAPILHEIRA ($t_{0,05}$) EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

	k	1/k (anos)	nº dias	$t_{0,5}$ (anos)	nº dias	$t_{0,05}$ (anos)	nº dias
Serapilheira	0,89	1,13	412	0,78	285	3,39	1236

FONTE: O autor (2015)

Pinto *et al.* (2009) obtiveram um coeficiente médio de decomposição (k) de 1,36 em trecho de floresta inicial e 1,26 em Floresta Estacional Semidecidual madura no município de Viçosa em Minas Gerais; e um tempo médio de renovação da serapilheira (1/k) de 0,74 ano (270 dias) em floresta inicial e 0,79 ano (288 dias) na floresta madura. O tempo necessário para o desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira acumulada foi de 0,51 e 2,21 anos, respectivamente, na floresta inicial e 0,55 e 2,38 anos, respectivamente, na floresta madura.

Sousa Neto *et al.* (2011) obtiveram um coeficiente de decomposição de 1,4 a 400 m de altitude e 1,3 a 1000 m de altitude em um gradiente altitudinal de Floresta Ombrófila Densa no litoral norte do Estado de São Paulo. Nesse estudo, o tempo para a decomposição de 50% da serapilheira foi de 5 meses (aproximadamente 150 dias) nas duas altitudes avaliadas e o tempo para a decomposição de 95% da serapilheira foi de 25 e 27 meses, respectivamente, para 400 e 1000 m de altitude, que equivale a 750 e 810 dias.

A baixa taxa de decomposição obtida neste estudo em comparação às florestas com predomínio de folhosas deve-se possivelmente à presença do material residual oriundo da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, que possui elevado teor de lignina (MATTOS *et al.*, 2006). Conforme citado no item 5.6 deste estudo, em média 41% da serapilheira produzida é composta por ramos e acículas de araucária, o que indica que a contribuição desse material pode influenciar na taxa de decomposição da serapilheira.

Prescott *et al.* (2011) analisaram a decomposição de serapilheira de folhosas e de coníferas e observaram que a serapilheira de folhosas decompunha mais rapidamente do que a serapilheira de coníferas no primeiro ano de avaliação, mas a diferença ficou pequena após três anos. Esses autores não observaram aceleração da decomposição da serapilheira de coníferas ao misturar o material com serapilheira de folhosas.

Segundo Austin e Ballaré (2010), a decomposição biológica é geralmente negativamente correlacionada com a concentração de lignina, que constitui um grupo de polímeros aromáticos complexos presentes na parede celular das plantas que é recalcitrante à degradação enzimática e serve como uma barreira estrutural impedindo o acesso dos microrganismos aos compostos lábeis de carbono. A qualidade da serapilheira (em termos de teor de lignina em relação a celulose) pode ter um impacto importante na decomposição da serapilheira (ADAIR *et al.*, 2008), sendo considerada como uma variável chave em modelos de carbono no ecossistema terrestre (SCHIMEL *et al.*, 1994).

É necessário considerar que a decomposição é um fenômeno complexo que pode depender de inúmeros fatores, tais como a umidade do ambiente (FERREIRA *et al.*, 2014), a fragmentação florestal e o efeito de borda (DIDHAM, 1998), a altitude e a temperatura (SOUSA NETO *et al.*, 2011), o fechamento do dossel (AUGUSTO *et al.*, 2002) e a maior ou menor exposição do material à radiação solar (AUSTIN; BALLARÉ, 2010).

Gießelmann *et al.* (2010) analisaram a dinâmica da decomposição da serapilheira em Mata Atlântica na Reserva Natural Rio Cachoeira em Antonina, no Paraná, e concluíram que a decomposição também pode ser explicada pelas interações entre certos tipos de folhas de diferentes espécies e as misturas dessas, e essas interações levam a uma dinâmica de decomposição imprevisível.

5.8 COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO

Os resultados do estoque de carbono nos compartimentos biomassa, necromassa e solo encontram-se na Tabela 16, assim como os resultados de produção de serapilheira e seu respectivo estoque de carbono.

TABELA 16 - ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA, NECROMASSA, SOLO E NA SERAPILHEIRA PRODUZIDA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Compartimento		Massa seca (Mg.ha ⁻¹)	Estoque de carbono (Mg.ha ⁻¹)
BIOMASSA (2013)	Acima do solo	241,90	101,06
	De raízes	46,04	17,96
	Total	287,94	119,02
NECROMASSA (2013)	Necromassa lenhosa > 10 cm	9,84	4,24
	2 a 10 cm	3,53	1,50
	Serapilheira	7,98	3,53
	Total	21,36	9,28
SOLO (2013)	0 a 5 cm	-	23,99
	5 a 10 cm	-	18,59
	10 a 20 cm	-	31,91
	20 a 40 cm	-	53,61
	Total	-	128,10
ESTOQUE TOTAL (2013)		-	256,40
SERAPILHEIRA PRODUZIDA (Média dos dois anos avaliados 2012 e 2013)	Verão	1,63	0,89
	Outono	1,29	0,58
	Inverno	1,06	0,62
	Primavera	2,23	1,17
	Média anual	6,21	3,26

FONTE: O autor (2015)

O estoque de carbono na biomassa acima do solo deste estudo (101,06 Mg.C.ha⁻¹) se aproxima da média obtida por Britez *et al.* (2006) para Floresta Ombrófila Mista (97 Mg.C.ha⁻¹). São escassos os trabalhos sobre o estoque de carbono na biomassa de raízes, mas o valor obtido neste estudo (17,96 Mg.ha⁻¹), assemelha-se ao estoque de carbono orgânico obtido por Watzlawick *et al.* (2012), em trabalho realizado em Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, no Paraná (14,69 Mg.ha⁻¹). O estoque de carbono da biomassa total (biomassa acima do solo e biomassa de raízes) encontrado neste estudo

(119,02 Mg.ha⁻¹) se assemelha ao obtido por Watzlawick *et al.* (2012) em Floresta Ombrófila Mista Montana (105 Mg.ha⁻¹) utilizando método destrutivo.

O estoque de carbono no solo até a profundidade de 40 cm obtido neste estudo (128,10 Mg.C.ha⁻¹) é inferior ao encontrado em Floresta Ombrófila Densa Montana que podem chegar a mais de 170 Mg.C.ha⁻¹ (VIEIRA *et al.*, 2011), mas é semelhante ao obtido por Santos (2014) em fragmento de Floresta Ombrófila Mista para a mesma profundidade (121 Mg.C.ha⁻¹). O valor também é semelhante ao obtido por Martins (2010) em Floresta Ombrófila Densa a 100 m de altitude que se estima estar entre 110 e 130 Mg.C.ha⁻¹ para a profundidade de 40 cm.

O estoque total de necromassa deste estudo (21,36 Mg.C.ha⁻¹) se assemelhou ao obtido por Sanquetta *et al.* (2014) em Floresta Estacional Semidecidual no Parque Nacional do Iguaçu/PR (21,17 Mg.C.ha⁻¹). Neste estudo o estoque de carbono na necromassa foi de 9,28 Mg.C.ha⁻¹, enquanto no trabalho de Sanquetta *et al.* (2014) foi de 7,65 Mg.C.ha⁻¹.

O somatório dos estoques de carbono de todos os compartimentos analisados (256,39 Mg.ha⁻¹) é inferior ao obtido por Vieira *et al.* (2011) em Floresta Ombrófila Densa localizada na Serra do Mar, em São Paulo. Esses autores obtiveram um estoque total de carbono de 315,27 Mg.C.ha⁻¹ em floresta de terras baixas (100 m de altitude), 384,14 Mg.C.ha⁻¹ em floresta sub-montana (400 m de altitude) e 457,77 Mg.C.ha⁻¹ em floresta montana (1000 m de altitude). Entretanto, deve-se considerar que o estoque de carbono no solo nesse estudo foi contabilizado até a profundidade de 1,00 m.

Os resultados do estoque de carbono no solo utilizados na publicação de Vieira *et al.* (2011) são oriundas do trabalho desenvolvido por Martins (2010), e a partir desses dados foi possível estimar o estoque de carbono no solo até a profundidade de 40 cm para permitir a comparação com os resultados deste estudo. Não foi possível obter resultados exatos, uma vez que os valores do estoque de carbono no solo por profundidade foram apresentados em formato de gráfico, e não de tabela, o que não permitiu uma comparação direta dos valores.

Ao considerar o estoque de carbono da biomassa acima do solo somada ao estoque de carbono da necromassa lenhosa e da serapilheira obtidos do trabalho de Vieira *et al.* (2011), com o estoque de carbono no solo até 40 cm de profundidade estimado a partir dos dados de Martins (2010) obteve-se um estoque total de carbono de cerca de 240 Mg.C.ha⁻¹ para floresta a 100 m de altitude, ~290 Mg.C.ha⁻¹

para floresta a 400 m de altitude e $\sim 340 \text{ Mg.C.ha}^{-1}$ a 1000 m de altitude. Portanto, o estoque total de carbono obtido neste estudo ($256,40 \text{ Mg.ha}^{-1}$) se aproxima do observado a 100 m de altitude em Floresta Ombrófila Densa na Serra do Mar.

Com relação apenas a necromassa lenhosa, neste estudo, 74% do estoque de carbono são oriundos de madeira morta de maiores dimensões (acima de 10 cm de diâmetro), enquanto os 26% restantes compreendem a necromassa lenhosa fina (2 a 10 cm de diâmetro). Woodall *et al.* (2013), analisando o estoque de carbono na necromassa lenhosa nas florestas dos Estados Unidos, obtiveram uma proporção média bastante semelhante, sendo 73% do carbono estocado na necromassa lenhosa grossa (acima de 7,59 cm de diâmetro) e 27% na necromassa lenhosa fina (2,55 a 7,59 cm de diâmetro). Porém, esses autores destacaram a alta variação regional observada no estoque de carbono entre os componentes da necromassa lenhosa, sendo que em algumas regiões o percentual correspondente a necromassa lenhosa fina superava o de necromassa lenhosa grossa.

Com os dados do inventário de necromassa de Santa Catarina foi possível estimar o estoque de carbono na necromassa lenhosa fina (1 a 10 cm de diâmetro) e na necromassa lenhosa grossa (acima de 10 cm de diâmetro). Nesse inventário, em Floresta Ombrófila Mista 35% do estoque de carbono era oriunda da necromassa lenhosa fina, enquanto a necromassa lenhosa grossa contribuiu com 65% do estoque de carbono (CARDOSO *et al.*, 2012). Em Floresta Estacional Semidecidual e em Floresta Ombrófila Densa, 48% e 51% do estoque de carbono eram compostos pela necromassa lenhosa fina, respectivamente (CARDOSO *et al.*, 2012).

A contribuição relativa da necromassa no estoque total de carbono no estudo desenvolvido por Vieira *et al.* (2011) não variou ao longo do gradiente altitudinal em Floresta Ombrófila Densa e permaneceu entre 4 e 5%. Destaca-se que nesse estudo também foi considerada a madeira morta em pé no estoque da necromassa. O estoque de carbono na necromassa lenhosa (acima de 2 cm de diâmetro) perfaz 71, 72 e 86% do estoque de carbono da necromassa (madeira morta + serapilheira) em Floresta de Terras Baixas, Submontana e Montana, respectivamente. Neste estudo, entretanto, a contribuição da serapilheira esteve em maior equilíbrio com a fração lenhosa, contribuindo respectivamente, com 38 e 62% do estoque total de carbono na necromassa.

Na Figura 32 encontram-se os percentuais de contribuição de cada compartimento no estoque total de carbono do fragmento florestal estudado e

também os percentuais no estoque de carbono nas florestas do Brasil segundo documento da FAO (2009). Para fins de comparação foram desconsiderados os estoques de carbono de florestas plantadas presentes nessa publicação.

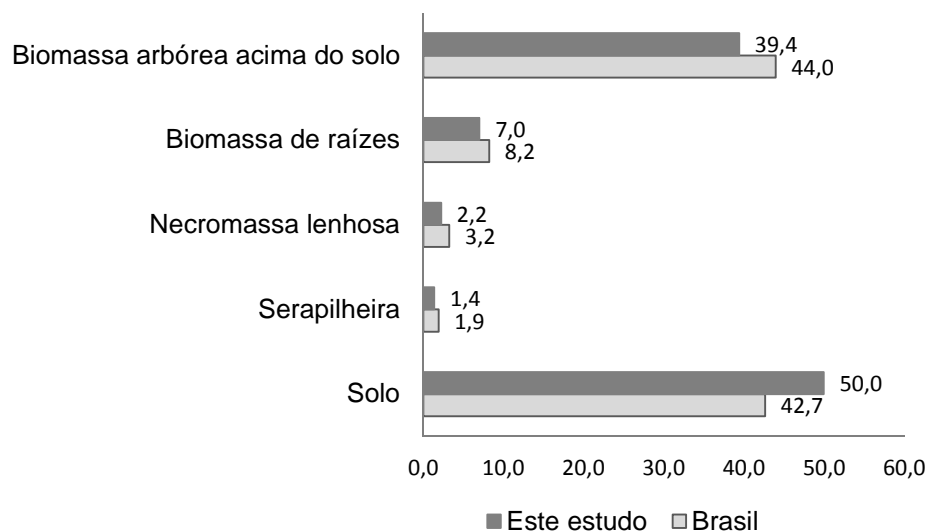


FIGURA 32 – CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS COMPARTIMENTOS NO ESTOQUE TOTAL DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR E NAS FLORESTAS BRASILEIRAS
FONTE: O autor (2015) e FAO (2009)

Neste estudo o estoque de carbono na biomassa acima do solo contribuiu com aproximadamente 40% do estoque total, enquanto a biomassa de raízes contribuiu com 7%. A necromassa lenhosa grossa e fina somadas contribuíram com 2,2% do estoque total de carbono, enquanto a serapilheira contribuiu com 1,4%. O solo neste estudo foi responsável por 50% do estoque total de carbono no fragmento. É importante salientar que na estimativa do estoque de carbono no solo das florestas brasileiras foi considerada a profundidade de 1,00 m nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal e 0,90 m na Mata Atlântica e Pampa, enquanto neste estudo a profundidade adotada foi de 0,40 m. Mesmo tendo sido considerada uma profundidade inferior àquela utilizada para a realização da estimativa brasileira, o fragmento florestal em estudo apresentou um estoque de carbono no solo superior à média obtida nas florestas do país.

Na Figura 33 é possível observar uma comparação entre os percentuais de contribuição dos compartimentos solo, biomassa e necromassa no estoque total de carbono deste estudo, com os obtidos para a Mata Atlântica (FAO, 2009). Destaca-se novamente que a profundidade do solo considerada neste estudo foi de 0,40 m,

enquanto para a estimativa do estoque de carbono no solo da Mata Atlântica considerou-se a profundidade de 0,90 m.

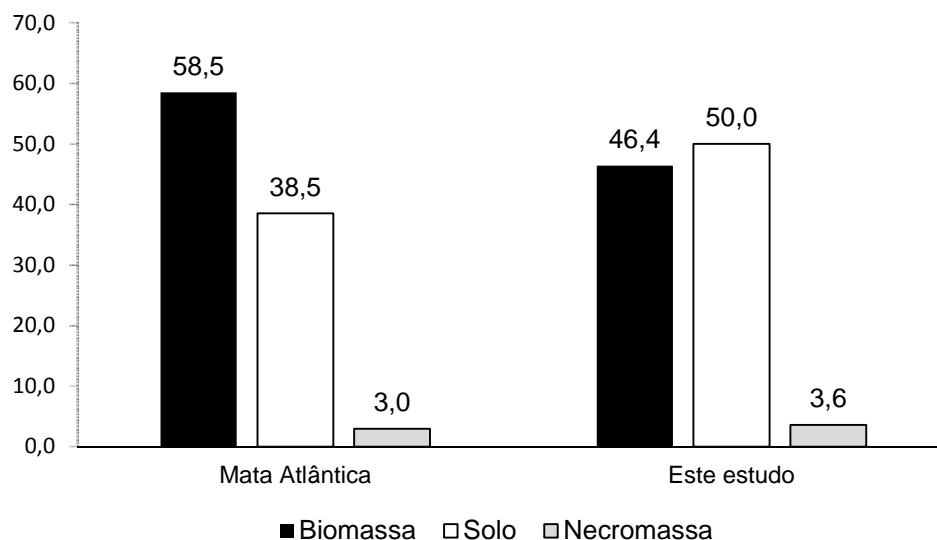


FIGURA 33 - CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS COMPARTIMENTOS NO ESTOQUE TOTAL DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR EM COMPARAÇÃO A VALORES MÉDIOS DA MATA ATLÂNTICA
FONTE: O autor (2015) e FAO (2009)

Neste estudo, o estoque de carbono no solo representou 50% do estoque total, seguido da biomassa (biomassa acima do solo e biomassa de raízes) com 46,4% e da necromassa (serapilheira e necromassa lenhosa) com 3,6%. Ressalta-se neste estudo a elevada contribuição do componente solo no estoque de carbono em comparação à média obtida para a Mata Atlântica. Entretanto, a Mata Atlântica abrange várias fitofisionomias bastante distintas, uma vez que se encontram em diferentes latitudes, com uma variação de mais de 27 graus (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005), e diferentes altitudes que vão do nível do mar a mais de 2000 m (IBGE, 2012), o que dificulta uma comparação direta entre os resultados deste estudo com a média de um bioma tão diverso.

A elevada contribuição de carbono estocado no solo no fragmento estudado pode ter sido influenciada pelo fato de tratar-se de floresta montana. Segundo Vieira *et al.* (2011) parece haver uma tendência de maior estoque de carbono no solo em Florestas Tropicais Montanas, enquanto em Florestas de Terras Baixas os estoques são maiores na biomassa. Alguns autores (KITAYAMA; AIBA, 2002; MOSER *et al.*, 2007) observaram a diminuição da biomassa acima do solo com a altitude, enquanto em alguns estudos foi possível observar um aumento do estoque

de carbono no solo com a altitude (GARTEN JR. *et al.*, 1999; POWERS; SCHLESINGER, 2002; LEMENIH; ITANNA, 2004; DAI; HUANG, 2006).

A altitude possivelmente influencia no estoque de carbono no solo devido aos efeitos da variação na temperatura e umidade. Lemenih e Itanna (2004) em Floresta Tropical Seca na Etiópia, obtiveram correlação positiva entre os estoques de carbono no solo ao longo de um gradiente altitudinal e a média anual de precipitação, e correlação negativa significativa entre o estoque de carbono no solo e a temperatura média anual. Dai e Huang (2006) estudaram a relação da concentração de matéria orgânica do solo com o clima e a altitude em diferentes regiões da China e observaram correlação negativa da concentração de matéria orgânica no solo com a temperatura média anual e correlação positiva com a precipitação.

Vieira *et al.* (2011), estudando Mata Atlântica costeira observaram maior estoque de carbono no solo em todas as altitudes analisadas (100 m, 400 m e 1000 m), mas com um aumento significativo do estoque com a altitude. Entretanto, o estoque de carbono no solo ao longo de gradientes altitudinais também pode variar de acordo com o tipo de solo (KITAYAMA; AIBA, 2002). Santos (2007) comparou o estoque de carbono em Floresta Ombrófila Densa em Antonina, no Paraná em dois tipos distintos de solo (Gleissolo e Cambissolo) e atribuiu as diferenças observadas ao maior teor de argila em Cambissolo.

Powers e Schlesinger (2002) analisaram as relações entre as distribuições de carbono no solo e fatores biofísicos em escalas espaciais em florestas tropicais do nordeste da Costa Rica e concluíram que a elevação explicou muito da variabilidade do carbono no solo em todos os níveis de análise, possivelmente devido à variação não apenas da temperatura, mas na textura e mineralogia do solo. Nos solos vulcânicos por exemplo, esses autores verificaram que o carbono é positivamente correlacionado com a presença de argilas alofanas nos locais de alta altitude, e positivamente correlacionado com medidas de complexos alumínio-húmus nos locais de baixa altitude. Sendo assim, o tipo de argila e não somente a quantidade pode ser crítica no controle do carbono no solo. Em todos os níveis de análise as relações entre o carbono no solo e variáveis biofísicas eram muito mais fortes para solos residuais em comparação com os solos aluviais (POWERS; SCHLESINGER, 2002).

Castro (2014) analisando o estoque de carbono no solo em Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES concluiu que o crescente teor de carbono em função do gradiente altitudinal não é o único fator que rege o estoque de carbono, mas sim a interação solo/planta/clima. Segundo esse autor, o gradiente altitudinal influencia os atributos químicos do solo, a densidade e o estoque de carbono de formas diferentes. Os atributos químicos do solo, fertilidade e acidez, são influenciados pela idade do solo e seu desenvolvimento, que diminui com aumento da altitude, enquanto os atributos relacionados à matéria orgânica são influenciados pela mudança microclimática (temperatura e umidade), que reduzem a decomposição e propiciam o acúmulo de matéria orgânica (CASTRO, 2014).

Entretanto, apesar da variedade de causas biofísicas possíveis para explicar a variação na alocação do carbono em florestas, hipóteses específicas requerem a realização de testes experimentais.

São raros os trabalhos que tratam do percentual de contribuição de cada compartimento no estoque total de carbono na floresta, dificultando a comparação dos resultados, principalmente ao tentar considerar o mesmo bioma.

Ao utilizar os resultados do estoque de carbono na biomassa acima do solo e da necromassa do trabalho de Vieira *et al.* (2011) e os resultados do estoque de carbono no solo até 40 cm de profundidade obtidos a partir do trabalho de Martins (2010), é possível estimar os percentuais de contribuição dos compartimentos para Floresta Ombrófila Densa na Serra do Mar ao longo de um gradiente altitudinal. Estima-se, portanto, que para essa fitofisionomia, tanto a 400 m quanto a 1000 m de altitude, cerca de 50% do carbono está estocado no solo, e cerca de 45% estocado na biomassa acima do solo, valores próximos aos encontrados neste estudo. Ao considerar o estudo de Vieira *et al.* (2011), com o solo até 100 cm de profundidade, obviamente as proporções são modificadas, aumentando o estoque de carbono no solo para 62%. Esses autores atribuíram essa alta contribuição do solo no estoque total de carbono ao efeito da temperatura, uma vez que regiões mais frias tendem a perder menos carbono para a atmosfera (SOUSA NETO *et al.*, 2011), levando a um aumento nos estoques no solo.

No caso da Floresta Amazônica, obtém-se em geral um maior estoque de carbono na biomassa acima do solo. Vieira *et al.* (2004) analisaram o estoque de carbono na biomassa acima do solo em três diferentes áreas em Floresta Tropical Amazônica, sendo uma estação experimental a cerca de 90 km de Manaus; uma

fazenda experimental pertencente a Universidade Federal do Acre a cerca de 23 km de Rio Branco e na Floresta Nacional Tapajós, próxima a Santarém. As florestas próximas a Rio Branco e Santarém obtiveram estoques de carbono na biomassa de 140,6 Mg.ha⁻¹ e 122,1 Mg.ha⁻¹, respectivamente, enquanto a floresta próxima a Manaus apresentou estoque de carbono de 180,1 Mg.ha⁻¹.

De acordo com o Segundo Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (2005), as formações florestais do bioma amazônico podem alcançar um estoque de carbono na biomassa variando de cerca de 150 Mg.C.ha⁻¹ até mais de 250 Mg.C.ha⁻¹, enquanto no bioma Mata Atlântica os valores vão de 100 Mg.C.ha⁻¹ a cerca de 170 Mg.C.ha⁻¹. Os maiores valores observados na Mata Atlântica são referentes as fitofisionomias de Floresta Ombrófila Densa (166,93 Mg.C.ha⁻¹), e o estoque de carbono na biomassa para Floresta Ombrófila Mista Montana é em média de 118,81 Mg.C.ha⁻¹ (FUNCATE, 2010). Em contraposição, segundo essa mesma publicação, os valores do estoque de carbono no solo em Floresta Ombrófila Mista são mais elevados do que os observados no bioma amazônico, e também se destacam como os mais elevados entre os outros biomas para a maioria dos grupos de solo avaliados.

As diferenças observadas na composição do estoque de carbono entre os biomas também se devem possivelmente as diferenças em termos de altura do dossel, relação altura-diâmetro, e densidade de árvores observadas entre a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica (ALVES *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos neste estudo foram reunidos para formar um balanço parcial de carbono, como pode ser observado na Figura 34.

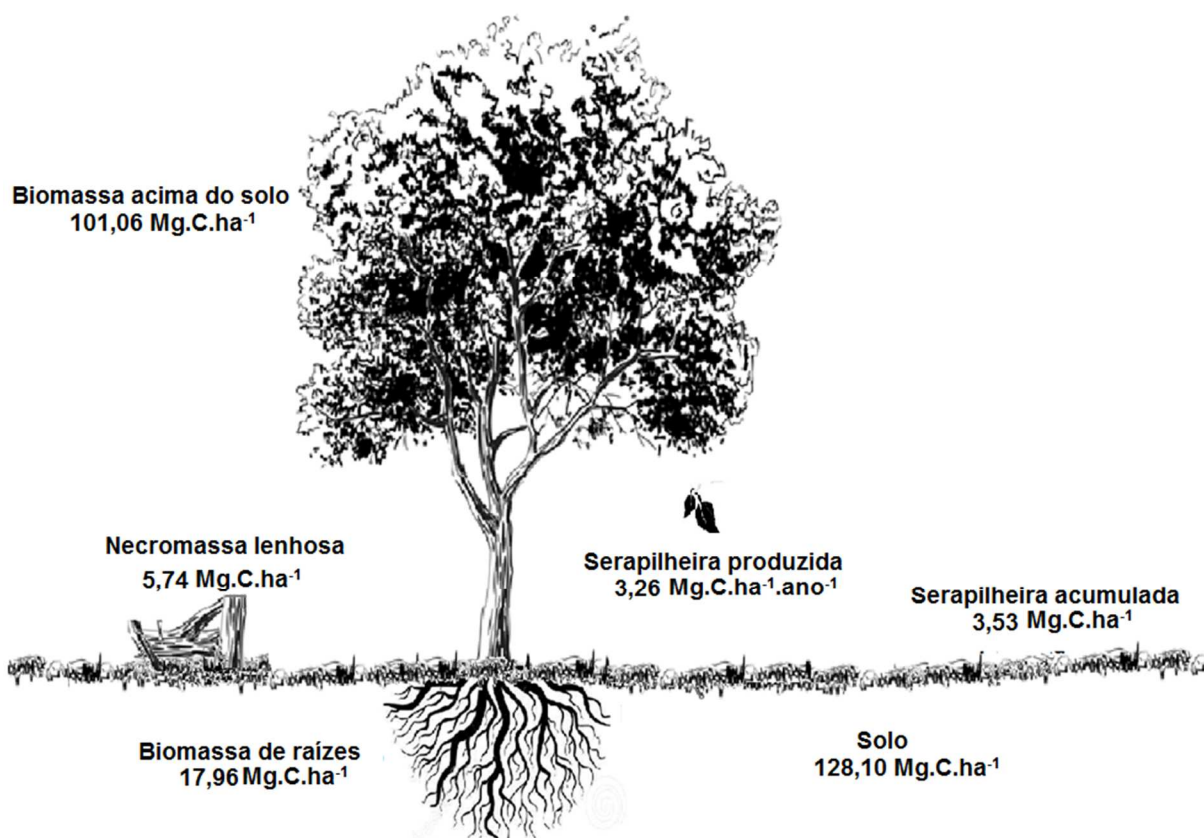


FIGURA 34 – COMPARTIMENTAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, LOCALIZADO EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR PARA O ANO DE 2013

NOTA: Na serapilheira produzida considerou-se a média de 2012 e 2013

FONTE: O autor (2015)

Possivelmente este representa a primeira tentativa de sintetizar num único estudo todas as informações sobre estoque de carbono em fitofisionomia de Floresta Ombrófila Mista. No bioma Mata Atlântica o único estudo semelhante encontrado refere-se a Floresta Ombrófila Densa (VIEIRA *et al.*, 2011).

É necessário destacar que neste estudo não foram considerados: regeneração natural de espécies lenhosas (< 10 cm de *dap*), árvores mortas em pé, outras formas de vida vegetal não arbóreas (arbustos, pteridófitas, epífitas, herbáceas, entre outras) nem tampouco fungos, microrganismos e a zoomassa.

6. CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento deste estudo foi possível concluir que:

- O solo foi o compartimento mais expressivo no estoque total de carbono do fragmento analisado, seguido da biomassa (acima do solo e de raízes), e da necromassa (serapilheira e necromassa lenhosa);
- O estoque de carbono do solo por unidade de volume foi mais elevado na primeira camada, diminuindo em profundidade, e o estoque de carbono na camada até 30 cm foi superior aos valores de referência apontados pelo IPCC (2006) para a zona ecológica e o tipo de solo do fragmento estudado;
- Com relação ao estoque de carbono na biomassa acima do solo e de raízes, as espécies que mais contribuíram foram *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, *Matayba elaeagnoides* Radlk e *Nectandra grandiflora* Nees & Mart., sendo que a primeira mostrou-se como a espécie mais representativa;
- O estoque de carbono na serapilheira acumulada no piso florestal é semelhante ao de outros estudos em Floresta Ombrófila Mista e apresenta um caráter aleatório de distribuição;
- O estoque de carbono na serapilheira acumulada é semelhante ao indicado pelo IPCC (2006) para domínio climático Subtropical em florestas com predomínio de coníferas perenes;
- A fração necromassa lenhosa fina (de 2 a 10 cm de diâmetro) apresenta grande variação na distribuição espacial, com um caráter agregado, e mostrou-se expressiva no estoque de carbono da necromassa lenhosa;
- A contribuição relativa da necromassa (necromassa lenhosa + serapilheira acumulada) no estoque total de carbono no fragmento estudado foi baixa em comparação aos demais compartimentos, sendo que a necromassa lenhosa contribuiu com mais da metade do total;
- A produção de serapilheira não apresentou correlação significativa com a precipitação, mas apresentou correlação significativa positiva com a velocidade do vento, radiação solar, e temperaturas máximas e mínimas. As frações da serapilheira produzida foram influenciadas por variáveis meteorológicas distintas;

- As espécies que mais contribuíram na produção de serapilheira depositada no ano de 2013 foram *Matayba elaeagnoides* Radlk, *Nectandra grandiflora* Nees & Mart., *Capsicodendron dinisii* (Schwacke) Occhioni, *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, *Cinnamomum sellowianum* (Nees & Mart.) Kosterm., *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg, *Bauhinia forficata* Link, *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez e *Casearia decandra* Jacq., que juntas representam cerca de metade da produção de folhas do ano;
- Os resultados indicam que os padrões fenológicos das espécies são influenciados por diferentes variáveis meteorológicas, e a análise de correlação da fração foliar como um todo pode ocultar os efeitos individuais;
- A serapilheira no fragmento estudado apresenta baixa taxa de decomposição em comparação às florestas com predomínio de folhosas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Apesar dos distúrbios sofridos no passado e da pequena área do fragmento, os resultados encontrados neste estudo indicam o elevado potencial de armazenamento de carbono do fragmento analisado;
- Embora a contribuição relativa da necromassa no estoque de carbono tenha sido menor em comparação aos demais compartimentos analisados, ela constitui a via de retorno do carbono da vegetação para o solo, compartimento esse que representa o maior estoque de carbono no fragmento analisado;
- A espécie araucária contribui não apenas com a maior parte do estoque de carbono na biomassa, mas também é a fração (ramos aciculados) mais representativa no retorno de carbono ao piso florestal via serapilheira. A estacionalidade na deposição da serapilheira total em 2013 foi definida primordialmente pela estacionalidade da deposição dos ramos aciculados da araucária. Esses dados denotam a relevância dessa espécie no estoque e dinâmica de carbono no fragmento estudado;
- Verificou-se a impossibilidade de comparação de alguns resultados com os valores de referência do IPCC. Devido à lacuna existente de estudos padronizados que possibilitem a realização de estimativas regionais, o IPCC (2006) não apresenta valores *default* para o estoque de carbono da necromassa lenhosa fina e grossa;
- Os resultados deste estudo irão ajudar a preencher a lacuna de conhecimento relacionada a distribuição do estoque de carbono entre seus compartimentos em Floresta Ombrófila Mista, podendo auxiliar na melhoria das estimativas regionais do estoque de carbono e diminuindo a incerteza nos inventários de emissões de gases de efeito estufa relacionados ao uso da terra e às mudanças no uso da terra, como estabelecido pelos acordos internacionais firmados pelo Brasil.

8. RECOMENDAÇÕES

- O método utilizado para a separação das frações da serapilheira acumulada foi obtido de estudos desenvolvidos em florestas com predomínio de folhosas. Devido à elevada quantidade de acículas de araucária que passavam pela malha de 10 mm utilizada na separação da fração peneira, recomenda-se o estudo de um método alternativo de separação que considere as características do material oriundo de Floresta Ombrófila Mista.
- Devido à subjetividade envolvida na separação das folhas em decomposição e recém depositadas, e ao tempo despendido nessa atividade, recomenda-se que seja avaliada a necessidade dessa separação em trabalhos futuros;
- Foram observadas diferenças na deposição sazonal de serapilheira obtida neste estudo e em estudo anterior realizado no mesmo local com as mesmas unidades amostrais (coletores de serapilheira), havendo uma alteração na ordem das estações de maior e menor contribuição em cada ano. Sugere-se que estudos sobre a produção sazonal de serapilheira se estendam por um período superior a dois anos.
- Devido à elevada variabilidade espacial na distribuição da necromassa lenhosa grossa recomenda-se um aumento na intensidade amostral em trabalhos futuros, uma vez que com o nível de erro obtido neste estudo as estimativas são de baixa precisão.
- Sugere-se o desenvolvimento de estudos que possam explicar as variáveis determinantes na taxa de decomposição da serapilheira no ambiente estudado.
- Para aprimorar o estudo do estoque e balanço de carbono nessa tipologia florestal se recomenda o desenvolvimento de trabalhos envolvendo a produção anual de necromassa lenhosa, a respiração do solo, da necromassa e das raízes, além do incremento anual de carbono na biomassa. Um estudo mais aprimorado do balanço de carbono poderia incluir também a entrada de carbono no sistema via precipitação e a saída por lixiviação.
- Mais estudos deverão ser realizados considerando a variação temporal no acúmulo de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista para garantir a qualidade das estimativas das médias anuais utilizadas.

- Por fim, sugere-se o desenvolvimento de mais estudos envolvendo a quantificação direta de biomassa e do estoque de carbono de raízes para o bioma e tipologia florestal estudados.

9. REFERÊNCIAS

ADAIR, E. C.; PARTON, W. J.; GROSSO, S. J. DEL; SILVER, W. L.; HARMON, M. E.; HALL, S. A.; BURKES, I. C.; HART, S. C. Simple three-pool model accurately describes patterns of long-term litter decomposition in diverse climates. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2636–2660, 2008.

ADIR, N.; ZER, H.; SHOCHAT, S.; OHAD, I. Photoinhibition – a historical perspective. **Photosynthesis Research**, v. 76, p. 343–370, 2003.

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado**. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. DE F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres - o caso do Cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. Documento.

ALLEN, D. E.; PRINGLE, M. J.; PAGE, K. L.; DALAL, R. C. A review of sampling designs for the measurement of soil organic carbon in Australian grazing lands. **The Rangeland Journal**, v. 32, p. 227–246, 2010.

ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; SCARANELLO, M. A.; CAMARGO, P. B.; SANTOS, F. A. M.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 5, p. 679–691, 2010.

AMARAL, L. DE P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; GENÚ, A. M. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, v. 6, p. 103–114, 2010.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.

ANTONELI, V.; FRANCISQUINI, V. M. Influência de alguns dados meteorológicos na produção de serapilheira na FLONA (Floresta Nacional) de Irati - Paraná. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 267–280, 2014.

ARYAL, D. R.; JONG, B. H. J. DE; OCHOA-GAONA, S.; ESPARZA-OLGUIN, L.; MENDOZA-VEGA, J. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 195, p. 220–230, 2014.

AUGUSTO, L.; RANGERA, J.; BINKLEY, D.; ROTHE, A. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. **Annals of Forest Science**, v. 59, p. 233–253, 2002.

AUSTIN, A. T.; BALLARÉ, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 10, p. 4618–22, 2010.

BACKES, A.; PRATES, F. L.; VIOLA, M. G. Produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 155–160, 2005.

BALBINOT, R. **Carbono, nitrogênio e razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no solo e vegetação de estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa Submontana**. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARAJAS-GUZMÁN, G.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J. La comunidad de desintegradores en una selva húmeda tropical. In: ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J.; NARANJO-GARCÍA, E. (Ed.); **Ecología del suelo en la Selva Tropical Húmeda de México**. Xalapa, México: Insituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, 2003. p.162–184.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415–425, 2006.

BARRETO, T. G. **Geoestatística aplicada à modelagem da dinâmica de crescimento e características químicas do solo de um fragmento florestal**. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2006.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, n. 1-2, p. 13–22, 2000.

BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant Litter - Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration**. 3. ed. Berlim Heidelberg: Springer, 2014.

BOND-LAMBERTY, B.; WANG, C.; GOWER, S. T. Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D23, p. WFX 1–1–WFX 1–10, 2002.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, E. D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 42–59, 2002.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. v.1. Brasília, 2010. 240 p.

BRITEZ, R. M. DE; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

BRITEZ, R. M.; REISSMAN, C. B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus do Sul, Paraná. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, n. 3, p. 766–772, 1992.

BROWN, J. K. **Handbook for inventorying downed woody material**. Ogden: USDA Forest Service, 1974.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 363–372, 2002.

BRUCE, S.; SIMS, J.; WALCOTT, J.; WHITE, S. **Soil Carbon Management and Carbon Trading**. Department of agriculture, fisheries and forestry. Australian Government. Bureau of Rural Sciences, 2010. 12 p.

CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1–11, 1997.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**, 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes - Floresta Ombrófila Mista Montana - Paraná. **Revista Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 101–116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, R. D. DA; KUNZ, S. H.; ZORZANELLI, J. P. F.; CASTRO, K. C.; GODINHO, T. DE. O. Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 111–119, 2013.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, SUÉLEN SCHRAMM MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53–68, 2008.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOTO, M. A.; GOMES, F. S. (Ed.). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. p.191–213.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais Soil attributes and risk of leaching of heavy metals in tropical soils. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547–565, 2010.

CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; LINGNER, D. VANESSA. Inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (Ed.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**. Blumenau: FURB, 2012. p.217–227.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações Silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, 1994.

CASSOL, H. L. G. **Estimativa de biomassa e estoque de Floresta Ombrófila Mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 143 f. Dissertação

(Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CASTRO, K. C. **Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa, no parque Nacional do Caparaó, ES.** 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CAVASSAN, O. Restauração de áreas degradadas. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI, V. (Ed.); **Meio ambiente e sustentabilidade.** Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 283–300.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P.; FERREIRA, L. V.; MELACK, J. M. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia**, v. 122, n. 3, p. 380–388, 2000.

CHAPMAN, J. L.; REISS, M. J. **Ecology: principles and applications.** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; LAO, S.; et al. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 2, p. 240–252, 2003.

CHOJNACKY, D.; AMACHER, M.; GAVAZZI, M. Separating Duff and Litter for Improved Mass and Carbon Estimates. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 33, n. 1, p. 29–34, 2009.

CHRISTENSEN, O. Wood Litter Fall in Relation to Abscission, Environmental Factors, and the Decomposition Cycle in a Danish Oak Forest. **Oikos**, v. 26, p. 187–195, 1975.

CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J.; CHHABRA, A.; DEFRIES, R.; GALLOWAY, J.; HEIMANN, M.; JONES, C.; LE QUÉRE, C.; MYNENI, R. B.; PIAO, S.; THORNTON, P. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; et al. (Eds.); **Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental**

Panel on Climate Change. p.465–570, 2013. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

CORRÊA, D. R. **Horizontes orgânicos sob Floresta Ombrófila Densa no Litoral Paranaense.** 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. **Diversidade de espécies arbóreas em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Estado do Paraná.** Relatório CNPQ. Curitiba, 1996.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; PESTANA, D.; SOUSA, L.; SOCHER, L. G.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C. V. Compartimentação topossequencial e caracterização fitossociológica de um capão de Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 361–369, 2006.

CURRIE, W. S.; NADELHOFFER, K. J. The imprint of land-use history: Patterns of carbon and nitrogen in downed woody debris at the Harvard Forest. **Ecosystems**, v. 5, p. 446–460, 2002.

DAI, W.; HUANG, Y. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China. **Catena**, v. 65, n. 1, p. 87–94, 2006.

DALLA LANA, M. **Dinâmica e prognose do crescimento em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná.** 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR.** 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B.; HÖFER, H. Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 75–86, 2012.

DIDHAM, R. K. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. **Oecologia**, v. 116, p. 397–406, 1998.

DINCA, L. C.; SPÂRCHEZ, G.; DINCA, M.; BLUJDEA, V. N. B. Organic carbon concentrations and stocks in Romanian mineral forest soils. **Annals of Forest Science**, v. 55, n. 2, p. 229–241, 2012.

DOUBRAWA, B. **Dinâmica da cobertura florestal e dos estoques de carbono na bacia hidrográfica do rio Iguaçu: 2000 a 2010**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DRESNER, S.; EKINS, P.; MCGEEVOR, K.; TOMEI, J. Forest and climate change: global understandings and possible responses. In: FREER-SMITH, P. H.; BROADMEADOW, M. S. J.; LYNCH, J. M. (Ed.); **Forestry & Climate Change**. Trowbridge: CAB International, 2007. p.38–48.

DUCEY, M. J.; JORDAN, G. J.; GOVE, J. H.; VALENTINE, H. T. A practical modification of horizontal line sampling for snag and cavity tree inventory. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 32, p. 1217–1224, 2002.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

EATON, J. M.; LAWRENCE, D. Woody debris stocks and fluxes during succession in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 46–55, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2009. 412 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Forest Resources Assessment. Brazil: Country Report**. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations. Forestry Department, 2009. 111 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2010**. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations. Forestry Department, 2010. 163 p. Relatório.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Climate Change Guidelines for Forest Managers**. FAO Forestry Paper n. 172. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations, Forestry Department, 2013.

FERRAZ, I. D. K.; LEAL FILHO, N.; IMAKAWA, A. M.; VARELA, V. P.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 621–633, 2004.

FERREIRA, M. L.; SILVA, J. L.; PEREIRA, E. E.; LAMANO-FERREIRA, A. P. DO N. Litter fall production and decomposition in a fragment of secondary Atlantic Forest of São Paulo, SP, southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 591–600, 2014.

FERRI, M. G. **Botânica: Morfologia interna das plantas**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1999. 115 p.

FIELD, C.; BARROS, V.; MACH, K.; MASTRANDREA, M. **Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Yokohama: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. 32 p. Resumo Técnico.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. DE. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 11–18, 2003.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SERPE, E. L.; BECKER, M.; FERNANDA, D. Produção estacional de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Irati (PR). **Ambiência**, v. 1, n. 2, p. 257–269, 2005.

FOLEGATTI, M. V.; BRASIL, R. P. C.; BLANCO, F. F. Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandiodalfic eutrudox and Typic hapludox. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 833–838, 2001.

FONSECA, W.; REY BENAYAS, J. M.; ALICE, F. E. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 8, p. 1400–1408, 2011.

FORTES, F. DE O.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L. Plano amostral para coleta de serapilheira na Floresta Ombrófila Mista do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, 2008.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS (FUNCATE). **Emissões de dióxido de carbono no Setor de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas**. Brasília: Ministério da Ciência e Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, 2010. 100 p. Relatório de Referência.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. DE G. **Mata Atlântica : biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo e Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica e Conservação Internacional, 2005.

GARTEN JR., C. T.; POST, W. M.; HANSON, P. J.; COOPER, L. W. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains. **Biogeochemistry**, v. 45, p. 115–145, 1999.

GAYOSO, J.; GUERRA, J. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. **Bosque (Valdivia)**, v. 26, n. 2, p. 33–38, 2005.

GIBBS, H. K.; BROWN, S.; NILES, J. O.; FOLEY, J. A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, v. 2, p. 1–13, 2007.

GIEßELMANN, U. C.; MARTINS, K. G.; BRÄNDLE, M.; SCHÄDLER, M.; MARQUES, R.; BRANDL, R. Diversity and ecosystem functioning: Litter decomposition dynamics in the Atlantic Rainforest. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 2, p. 283–290, 2010.

GIRARDIN, C. A. J.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MAMANI, M.; HUASCO, W. H.; DURAND, L.; FEELEY, K. J.; RAPP, J.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILMAN, M.; SALINAS, N.; WHITTAKER, R. J. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3176–3192, 2010.

GODINHO, T. D. O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A. DE; ROCHA, J. H. T. Biomassa,

macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 131–144, 2013.

GODINHO, T. DE O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11–20, 2014.

GOERS, L.; ASHTON, M. S.; TYRRELL, M. L. Introdução. In: ASHTON, M. S.; TYRREL, M. L.; SPALDING, D.; GENTRY, B. (Ed.). **Managing Forest Carbon in a Changing Climate**. Heidelberg, London, New York: Springer Science & Business Media, 2012. p.1–6.

GOUGH, C. M.; VOGEL, C. S.; KAZANSKI, C.; NAGEL, L.; FLOWER, C. E.; CURTIS, P. S. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest. **Forest Ecology and Management**, v. 244, n. 1-3, p. 60–67, 2007.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: LINO, C. F.; SIMÕES, L. L. (Ed.). **Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. 2. ed. São Paulo: Senac, 2003. p.85–101.

HANSEN, C. P. **Application of the Pilodyn in Forest Tree improvement**. Technical note n. 55 – July. Humlebaek, Denmark: Danida Forest Seed Centre, 2000. 11 p. Nota técnica.

HARMON, M. E.; FASTH, B.; WOODALL, C. W.; SEXTON, J. Carbon concentration of standing and downed woody detritus: Effects of tree taxa, decay class, position, and tissue type. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 259–267, 2013.

HARMON, M. E.; FRANKLIN, J. F.; SWANSON, F. J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S. V.; LATTIN, J. D.; ANDERSON, N. H.; CLINE, S. P.; AUMEN, N. G.; SEDELL, J. R.; LIENKAEMPER, G. W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K. W. Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. **Advances in Ecological Research**. v. 15, p.133–302, 1986.

HARMON, M. E.; KRANKINA, O. ; YATSKOV, M.; MATTHEW, E. Predicting Broad-scale Carbon Stock of Woody Detritus from Plot-Level Data. In: KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assessment Methods for Soil Carbon**. New York: CRC Press, 2001. p.533–553.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. **Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems**. University of Washington, College of Forest Resources, Seattle, 1996. 73 p.

HARMON, M. E.; WOODALL, C. W.; FASTH, B.; SEXTON, J. **Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis**. General Technical Report. NRS-29. United States Department of Agriculture/Forest Service, 2008. 84 p.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. DA; FERREIRA, T. DE S.; SOUZA, S. T. DE.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M. DA; SANTOS, K. F. DOS; LINKE, C.; PAULINO, P. DA S. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 79–90, 2012.

HUY, B.; HUNG, V.; HUONG, N. T. T.; LY, C. T.; DINH, N. D. Development of allometric equations to estimate biomass and carbon for the Evergreen broad leaved forest in the Central Highlands of Vietnam. **Forest and Environment Journal**, v. 51, n. 21-30, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 274 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Reference Manual: Land Use Change and Forestry, 1996. p.1–54.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; et al. (Ed.); **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. v. 177, 2003. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. EGDELSTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.); **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 4, 2006. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; et al. (Eds.); **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on**

Climate Change. Summary for Policymakers. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014. p.1–32.

JÖNSSON, M. T.; FRAVER, S.; JONSSON, B. G. Spatio-temporal variation of coarse woody debris input in woodland key habitats in central Sweden. **Silva Fennica**, v. 45, p. 957–967, 2011.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G. P.; PEREIRA, R. J.; SILVA, J. N. M. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 784–795, 2004.

KENNEDY, D. M.; WOODS, J. L. D. The influence of coarse woody debris on gravel beach geomorphology. **Geomorphology**, v. 159-160, p. 106–115, 2012.

KITAYAMA, K.; AIBA, S.I. Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. **Journal of Ecology**, v. 90, n. 1, p. 37–51, 2002.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; KLEINPAUL, J. J. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. e floresta estacional decidual. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 965–972, 2005.

KÖHLER, L.; HÖLSCHER, D.; LEUSCHNER, C. High litterfall in old-growth and secondary upper montane forest of Costa Rica. **Plant Ecology**, v. 199, n. 2, p. 163–173, 2008.

KOSTEL-HUGHES, F.; YOUNG, T. P.; CARREIRO, M. M. Forest leaf litter quantity and seedling occurrence along an urban-rural gradient. **Urban Ecosystems**, v. 2, p. 263–278, 1998.

LACLAU, P. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 173, n. 1-3, p. 353–360, 2003.

LADEGAARD-PEDERSEN, P.; ELBERLING, B.; VESTERDAL, L. Soil carbon stocks, mineralization rates, and CO₂ effluxes under 10 tree species on contrasting soil types. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, n. 6, p. 1277–1284, 2005. NRC Research Press Ottawa, Canada.

LAURANCE, W. F.; DELAMÔNICA, P.; LAURANCE, S. G.; VASCONCELOS, H. L.; LOVEJOY, T. E. Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature**. Brief Communication, v. 404, p. 836, 2000.

LECO. **C-144 Carbon Determinator**. Specification Sheet 209-134-003. LECO Corporation, 2008. 2 p.

LEMENIH, M.; ITANNA, F. Soil carbon stocks and turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 177–188, 2004.

LIMA, M. R. **Manual de Diagnóstico da Fertilidade e Manejo dos Solos Agrícolas**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2003. 143 p.

LOGSDON, S. D.; MBUYA, O. S.; TSEGAYE, T. Bulk density and soil moisture sensors. In: LOGSDON, S.; CLAY, D.; MOORE, D.; TSEGAYE, T. (Ed.); **Soil Science: Step by step field analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2008. p. 211–220.

LONGHI, R. V.; LONGHI, S. J.; CHAMI, L. B.; WATZLAWICK, L. F. Produção de serapilheira e retorno de macronutrientes em três grupos florísticos de uma Floresta Ombrófila Mista, RS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 699–710, 2011.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no Sul do Brasil**. 198 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008. 368 p.

LÜ, X.T.; YIN, J.X.; JEPSEN, M. R.; TANG, J.W. Ecosystem carbon storage and partitioning in a tropical seasonal forest in Southwestern China. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 10, p. 1798–1803, 2010.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. Burlington e San Diego: Elsevier, 2006. 307 p.

MAACK, R. Notas complementares a apresentação preliminar do Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná (Brasil). **Boletim de Geografia**, Rio de Janeiro, (RJ), 1950.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. DE F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A. DE.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 217–224, 2008.

MAGNUSSEN, S.; REED, D. **Modelling for estimation and monitoring**. Knowledge Reference for National Forest Assessments: FAO-IUFRO, 2004.

MÄKIPÄÄ, R.; LINKOSALO, T. A non-destructive field method for measuring wood density of decaying logs. **Silva Fennica**, v. 45, n. 5, p. 1135–1142, 2011.

MÄKIPÄÄ, R.; LISKI, J.; GUENDEHOU, S.; MALIMBWI, R.; KAAYA, A. **Soil carbon monitoring using surveys and modelling**. FAO Forestry Paper n. 168. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. 50 p.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, n. 6, p. 715–740, 1999.

MARQUES, R.; MOTTA, A. C. V. Análise química do solo para fins de fertilidade. **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícola**. p.81–102, 2003. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

MARTINS, P. J. **Biomassa vegetal, estoque de carbono e dinâmica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana**, 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste.

MARTINS, S. C. **Caracterização dos solos e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, Estado de São Paulo**. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MATTOS, P. P. DE; BORTOLI, C. DE; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. **Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Embrapa: Colombo, 2006. 5 p. Comunicado Técnico.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. 49 p. Relatório de Referência.

MICHALSKI, F.; NISHI, I.; PERES, C. A. Disturbance-mediated drift in tree functional groups in Amazonian Forest fragments. **Biotropica**, v. 39, n. 6, p. 691–701, 2007.

MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BARRETO, T. G. Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 153, 2013.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 12, n. 1, p. 84–96, 2006.

MORISITA, M. Ia-Index, a measure of dispersion of individuals. **Researches on Population Ecology**, v. IV, p. 1–7, 1962.

MOSER, G.; RÖDERSTEIN, M.; SOETHE, S.; HERTEL, D.; LEUSCHNER, C. Altitudinal Changes in Stand Structure and Biomass Allocation of Tropical Mountain Forests in Relation to Microclimate and Soil Chemistry. In: BECK, E.; BENDIX, J.; KOTTKE, I.; MAKESCHIN, F.; MOSANDI, R. (Ed.). **Gradients in a Tropical mountain Ecosystem of Ecuador**. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. p.229–242.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 105–119, 2001.

NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 183–192, 2006.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O. Balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 81–90, 2002.

NOGUEIRA, E. M.; NELSON, B. W.; FEARNSIDE, P. M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 208, n. 1-3, p. 261–286, 2005.

NOGUEIRA, M. DE O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Guarapuava, 2013.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MELO, A. C. G.; RÉ, D. S. Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 2, p. 1–9, 2014.

NORDÉN, B.; GÖTMARK, F.; TÖNNBERG, M.; RYBERG, M. Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. **Forest Ecology and Management**, v. 194, n. 1-3, p. 235–248, 2004.

NOVAES FILHO, J. P.; SELVA, E. C.; COUTO, E. G.; LEHMANN, J.; JOHNSON, M. S.; RIHA, S. J. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia Meridional. **Floresta**, v. 31, n. 1, p. 83–92, 2007.

OLAJUYIGBE, S. O.; TOBIN, B.; GARDINER, P.; NIEUWENHUIS, M. Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 6, p. 1109–1118, 2011.

OLIVER, J. E. **Encyclopedia of World Climatology**. Bodwin: Springer, 2005. 854 p.

OLSON, J. S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. **Ecological Society of America**, v. 44, n. 2, p. 322–331, 1963.

PALACE, M.; KELLER, M.; ASNER, G. P.; SILVA, J. N. M.; PASSOS, C. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 238, n. 1-3, p. 309–318, 2007.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 3. ed. Burlington, Califórnia, London: Elsevier, 2008. 464 p.

PASHER, J.; KING, D. J. Mapping dead wood distribution in a temperate hardwood forest using high resolution airborne imagery. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1536–1548, 2009.

PAULY, M.; KEEGSTRA, K. Cell-wall carbohydrates and their modification as a resource for biofuels. **The Plant journal: for cell and molecular biology**, v. 54, n. 4, p. 559–68, 2008.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro, 2013. 24 p. Sumário Executivo.

PEARSON, T.; BROWN, S.; RAVINDRANATH, N. **Integrating carbon benefit estimates into GEF projects**. UNDP GEF Capacity Development and Adaptation Group Guidelines, 2005. 57 p. Relatório.

PEARSON, T. R. H.; BROWN, S. L.; BIRDSEY, R. A. **Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon**. General Technical Report NRS-18. Delaware: United States Department of Agriculture - Forest Service, 2007. 42 p.

PELD SÍTIO 9. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração - Floresta com Araucária e suas transições. Disponível em: <<http://www.peldaraucaria.com.br/instituicoes.html>>. Acesso em: 2/9/2014. Página da internet.

PENNE, C.; AHREND, B.; DEURER, M.; BÖTTCHER, J. The impact of the canopy structure on the spatial variability in forest floor carbon stocks. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 282–297, 2010.

PIETRO-SOUZA, W.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; FARIAS, L. DO N.; SILVA, N. DE M.; BARBOSA, D. S. Produção de necromassa e de serapilheira em área de preservação permanente pertencente ao Rio São Lourenço, Campo Verde – MT. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 47–66, 2012.

PINTO, S. I. DO C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F. DE; DIAS, H. C. T. Produção em dois estágios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 545–556, 2008.

PINTO, S. I. DO C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F. DE; DIAS, H. C. T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 653–663, 2009.

PIRES, L. A.; BRITZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGANO, S. N. Produção , acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 173–184, 2006.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum**. v. 33, n. 1, p. 161–170, 2011.

PIZZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista de São João do Triunfo - PR: 1995 a 1998**. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

POLO, J. A.; HALLGREN, S. W.; LESLIE, D. M. Effect of long-term understory prescribed burning on standing and down dead woody material in dry upland oak forests. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 128–135, 2013.

POWERS, J. S.; SCHLESINGER, W. H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. **Geoderma**, v. 109, n. 3-4, p. 165–190, 2002.

PRESCOTT, C. E.; ZABEK, L. M.; STALEY, C. L.; KABZEMS, R. Decomposition of broadleaf and needle litter in forests of British Columbia: influences of litter type, forest type, and litter mixtures. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 11, p. 1742–1750, 2001.

PRESTON, C. M.; BHATTI, J. S.; FLANAGAN, L. B.; NORRIS, C. Stocks, Chemistry, and Sensitivity to Climate Change of Dead Organic Matter Along the Canadian Boreal Forest Transect Case Study. **Climatic Change**, v. 74, n. 1-3, p. 223–251, 2006.

PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield: From Measurement to Model**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. 664 p.

PRICE, S. P.; BRADFORD, M. A.; ASHTON, M. S. Characterizing organic carbon stocks and flows in forest soils. In: ASHTON, M. S.; TYRREL, M. L.; SPALDING, D.; GENTRY, B. (Ed.). **Managing Forest Carbon in a Changing Climate**. Springer Science & Business Media, 2012. p.7–30.

RAGAN, S.; MEGONNELL, N.; COURT, C.; LEIGH, M. E. Activated carbon from renewable resources - Lignin. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 45, n. 7-8, p. 527–531, 2011.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. **Carbon Inventory Methods**. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Advances in Global Change Research. Springer Science + Business Media B.V., 2008. 304 p.

REICHSTEIN, M. Impacts of climate change on forest soil carbon: principle, factors, models, uncertainties. In: FREER-SMITH, P. H.; BROADMEADOW, M. S. J.; LYNCH, J. M. (Eds.); **Forestry & Climate Change**. p.127–135, 2007. Trowbridge: CAB International.

RESH, S. C.; BATTAGLIA, M.; WORLEDGE, D.; LADIGES, S. Coarse root biomass for eucalypt plantations in Tasmania, Australia: sources of variation and methods for assessment. **Trees - Structure and Function**, v. 17, n. 5, p. 389–399, 2003.

RIBEIRO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; STALL, D.; LEÃO, R. Á.; NASCIMENTO, F. A. F. DO. Proposta metodológica para realização de um inventário florestal de necromassa: um estudo de caso. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 121–127, 2012.

RICE, A. H.; PYLE, E. H.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. PALACE, M.; KELLER, M.; CAMARGO, P. B. DE.; PORTILHO, K.; MARQUES, D. F.; WOFSY, S. C. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 55–71, 2004.

RICOBOM, A. E. **Parque do Iguaçu como unidade de conservação da natureza no âmbito do Mercosul: os problemas decorrentes da degradação ambiental**, 2001. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná.

ROBINSON, D. Implications of a large global root biomass for carbon sink estimates and for soil carbon dynamics. **Proceedings of the Royal Society. Biological Sciences**, v. 274, n. 1626, p. 2753–2759, 2007.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR.** 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RODRIGUES, A. L.; MOGNON, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Diversidade arbórea e estrutura das florestas com Araucária sob o domínio do PELD Sítio 9. In: SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L. (Ed.). **Floresta com Araucária: Pesquisas Ecológicas de Longa Duração.** Curitiba: Multi-Graphic, 2014. p. 33-58.

ROLIM, S. G.; JESUS, R. M.; NASCIMENTO, H. E. M.; COUTO, H. T. Z. DO; CHAMBERS, J. Q. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. **Oecologia**, v. 142, n. 2, p. 238–46, 2005.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: FUPEF/UFPR, 2002. p.119–140.

SANQUETTA, C. R. Estudos ecológicos de longa duração: exemplo de aplicação para a Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná, Brasil. In: SANQUETTA, C. R. (Ed.); **Experiências de monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes.** Curitiba, 2008. p. 3-46.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Ed.); **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** Curitiba: AM Impressos, 2004. p.77–93.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; PINTO, C.; MELO, L. A. N. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in Iguaçu National Park. **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 185–194, 2014.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração e o Sítio ELFA: Floresta com Araucária e Transições. In: SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; MOGNON, F. (Ed.). **Floresta com Araucária: Pesquisas Ecológicas de Longa Duração.** Curitiba: Multi-Graphic, 2014a. p.296.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L. Floresta com Araucária e suas transições. In: SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; MOGNON, F. (Ed.). **Floresta com Araucária: Pesquisas Ecológicas de Longa Duração**. Curitiba: Multi-Graphic, 2014b. p.296.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MAAS, G. C. B. El rol del bosque en el cambio climatico. **Quebracho (Santiago del Estero)**, v. 19, n. 2, p. 84–96, 2013.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. 295 p.

SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; MENDONÇA, V. C. Teores de carbono e densidade básica da madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don em povoamentos no município de Rio Negro - PR. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 2450–2458, 2013.

SANTOS, E. DOS. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em gleissolo e camissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Antonina-PR**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, K. F. DOS. **Determinação de atributos físicos e do carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra no planalto Sul catarinense**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná**. 119 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SCHAAF, L. B.; FILHO, A. F.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, R. Alteração na estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283–295, 2000.

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. **ISRN Soil Science**, p. 1–12, 2013.

SCHIMEL, D. S.; BRASWELL, B. H.; HOLLAND, E. A.; MCKEOW, R.; OJIMA, D. S.; PAINTER, T. H.; PARTON, W. J.; TOWNSEND, A. R. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, n. 3, p. 279–293, 1994.

SCHULP, C. J. E.; NABUURS, G.-J.; VERBURG, P. H.; WAAL, R. W. DE. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 482–490, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; MARAFIGA, J. M.; VIERA, M.; SZYMCZAK, D. A. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 479–486, 2011.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Manual de Campo. Procedimentos para Coleta de Dados Biofísicos e Socioambientais**. Inventário Florestal Nacional - Brasil. Brasília, 2014.

SHANKS, R.; OLSON, J. S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia. **Forest Science**, v. 134, p. 194–195, 1961.

SHIMAMOTO, C. Y.; BOTOSSO, P. C.; MARQUES, M. C. M. How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 1–9, 2014.

SHORTLE, W. C.; DUDZIK, K. R. **Wood Decay in Living and Dead Trees : A Pictorial Overview**. General Technical Report NRS-97. Delaware: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2012. 28 p.

SIERRA, C. A.; VALLE, J. I. DEL; ORREGO, S. A.; *et al.* Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. **Forest Ecology and Management**, v. 243, n. 2-3, p. 299–309, 2007.

SMITH, G. R. Toward an efficient method for measuring soil organic carbon stocks in forests. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assessment methods for soil carbon**. Florida: CRC Press, 2000. p.293–310.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 4, p. 943–955, 2007.

SOUZA NETO, E.; CARMO, J. B.; KELLER, M.; MARTINS, S. C.; ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P.; COUTO, H. T. Z.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic forest. **Biogeosciences**, v. 8, n. 3, p. 733–742, 2011.

SOUZA, S. G. A. DE. **Produção e decomposição de serapilheira de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Rio Barigui, Araucária, PR.** 127 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

STAELENS, J.; NACHTERGALE, L.; LUYSSAERT, S.; LUST, N. A model of wind-influenced leaf litterfall in a mixed hardwood forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, n. 2, p. 201–209, 2003.

STINSON, G.; KURZ, W. A.; SMYTH, C. E.; NEILSON, E. T.; DYMOND, C. C.; METSARANTA, J. M.; BOISVENUE, C.; RAMPLEY, G. J.; LI, Q.; WHITE, T. M.; BLAIN, D. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2227–2244, 2011.

STOCKER, T. F.; DAHE, Q.; PLATTNER, G. K. (Eds). Technical Summary. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom e New York: Cambridge University Press, 2013. p.33–115.

STOKLAND, J. N.; SIITONEN, J.; JONSSON, B. G. **Biodiversity in Dead Wood**. New York: Cambridge University Press, 2012. 509 p.

TANG, J. W.; YIN, J. X.; QI, J. F.; JEPSEN, M. R.; LU, X. T. Ecosystem carbon storage of tropical forests over limestone in Xishuangbanna, SW China. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 3, p. 399–407, 2012.

TAKAHASHI, M.; ISHIZUKA, S.; UGAWA, S.; SAKAI, Y.; SAKAI, H.; ONO, K.; HASHIMOTO, S.; MATSUURA, Y.; MORISADA, K. Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 19–30, 2010.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **National Reports**, 201-.

<http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php>. Acesso em: 6/2/2015. Página da internet.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change**. Rio 92: Convenção do Clima. Rio de Janeiro, 1992.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Forest inventory and analysis national core field guide: field data collection procedures for phase 3 plots, version 5.1**. Washington: Department of Agriculture, Forest Service, 2011. 34 p.

VAN WAGNER, C. E. The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. **Forest Science**, v. 14, n. 1, p. 20–26, 1968.

VAN WAGNER, C. E. **Practical aspects of the line intersect method**. Chalk River: Petawawa National Forest Institute. Canadian Forestry Service, 1982. 14 p.

VERIFIED CARBON STANDARD (VCS). **VCS Module VMD0023 Estimation of carbon stocks in the litter pool**, 2012. Version 1.0. Sectoral Scope 14. The Earth Partners LLC.

VIDAL, M. M.; PIVELLO, V. R.; TADEU, S.; PAUL, J. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521–532, 2007.

VIEIRA, E. L.; SILVA, G. S. DE S.; SANTOS, A. R. DO; SILVA, J. DOS S. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230 p.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINS, S. C.; VEIGA, L. G.; Scaranello, M. A.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B. DO; NETO, E. S.; SANTOS, F. A. M.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and Evolution**, v. 1, n. 3, p. 421–34, 2011.

VIEIRA, S.; CAMARGO, P. B. DE; SELHORST, D.; SILVA, R. DA.; HUTYRA, L.; CHAMBERS, J. Q.; BROWN, I. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J. DOS.; WOTSY, S. C.;

TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v. 140, n. 3, p. 468–79, 2004.

VIERA, M.; CALDATO, S. L.; ROSA, S. F. DA; KANIESKI, M. R.; ARALDI, D. B. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 611–619, 2010.

VILLELA, D. M.; NASCIMENTO, M. T.; ARAGAO, L. E. O. C.; GAMA, D. M. DA. Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 506–516, 2006.

VILLELA, D.; MATTOS, E. DE; PINTO, A.; VIEIRA, S.; MARTINELLI, L. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 633–642, 2012.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793–800, 2004.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

VITOUSEK, P. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. **The American Naturalist**, v. 119, p. 553–572, 1982.

WARREN, W. G. Line Intersect Sampling: An Historical Perspective. In: STATE-OF-THE-ART METHODOLOGY OF FOREST INVENTORIES. **Anais...** 1990, p.33–38.

WARREN, W. G.; OLSEN, P. F. A Line Intersect Technique for Assessing Logging Waste. **Forest Science**, v. 10, n. 3, p. 267–276, 1964. Society of American Foresters.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do Satélite Ikonos II**, 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, 2004. p.95–109.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. A.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002, p. 153-173.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. DE O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 353–362, 2012.

WEBER, K. S.; BALBINOT, R.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecossistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, v. 2, n. 2, p. 167–177, 2009.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. de L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica**, v. 3, n. 2, p. 77–85, 2005.

WEGGLER, K.; DOBBERTIN, M.; JÜNGLING, E.; KAUFMANN, E.; THÜRIG, E. Dead wood volume to dead wood carbon: the issue of conversion factors. **European Journal of Forest Research**, v. 131, n. 5, p. 1423–1438, 2012.

WOLDENDORP, G.; KEENAN, R. J.; BARRY, S.; SPENCER, R. D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, v. 198, p. 133–148, 2004.

WOODALL, C. W.; LIKNES, G. C. Relationships between forest fine and coarse woody debris carbon stocks across latitudinal gradients in the United States as an indicator of climate change effects. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 5, p. 686–690, 2008.

WOODALL, C. W.; PERRY, C. H.; WESTFALL, J. A. An empirical assessment of forest floor carbon stock components across the United States. **Forest Ecology and Management**, v. 269, p. 1–9, 2012.

WOODALL, C. W.; RONDEUX, J.; VERKERK, P. J.; STÅHL, G. Estimating dead wood during national forest inventories: a review of inventory methodologies and suggestions for harmonization. **Environmental Management**, v. 44, n. 4, p. 624–31, 2009.

WOODALL, C. W.; WALTERS, B. F.; OSWALT, S. N.; DOMKE, G. M.; TONEY, C.; GRAY, A. N. Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. **Forest Ecology and Management**, v. 305, p. 48–59, 2013.

WOODALL, C.; WILLIAMS, M. S. **Sampling Protocol, Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Program**. General Technical Report NC-256. Saint Paul: United States Department of Agriculture, Forest Service. Forest Inventory and Analysis, 2007. 49 p.

ZHANG, C.; JAMIESON, R. C.; MENG, F.-R.; GORDON, R. J.; BHATTI, J.; BOURQUE, C. P. A. Long-term forest-floor litter dynamics in Canada's boreal forest: Comparison of two model formulations. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 6, p. 1236–1244, 2011.

ZHOU, X.; HEMSTROM, M. A. **Estimating Aboveground Tree Biomass on Forest Land in the Pacific Northwest: A Comparison of Approaches**. Portland: United States Department of Agriculture - Forest Service, 2009. 21 p.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 - ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA TOTAL DAS ESPÉCIES MAIS REPRESENTATIVAS EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Espécie	Estoque de carbono (Mg.ha ⁻¹)	Contribuição no estoque de C da biomassa (%)
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	60,85	51
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	10,11	8
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk	7,14	6
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & Mart.	4,73	4
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	2,53	2
<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni	2,47	2
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	2,45	2
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	1,96	2
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	1,85	2
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1,65	1
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	1,60	1
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	1,55	1
<i>Cinnamomum vesiculosum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	1,47	1
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schltdl.) D.Dietr.	1,38	1
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	1,32	1
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees & Mart.	1,30	1
<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.	1,29	1
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	1,04	1
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	1,03	1
Somatório	107,70	90

FONTE: O autor (2015)

APÊNDICE 2 – PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA (Mg.ha⁻¹) E CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS FRAÇÕES NOS DOIS ANOS DE ESTUDO EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO/PR

Estação	Fração	2012		2013		Média	
		Produção	%	Produção	%	Produção	%
Verão	F	0,26	19	0,38	19	0,32	19
	G	0,14	11	0,30	15	0,22	13
	RA	0,70	53	0,96	49	0,83	51
	MR	0,06	4	0,13	7	0,09	6
	C	0,02	2	0,03	1	0,02	1
	M	0,14	11	0,16	8	0,15	9
	Total	1,32	100	1,95	100	1,63	100
Outono	F	0,24	18	0,35	27	0,29	23
	G	0,18	14	0,09	7	0,13	10
	RA	0,67	52	0,61	47	0,64	50
	MR	0,13	10	0,12	9	0,12	10
	C	0,04	3	0,03	3	0,03	3
	M	0,04	3	0,08	7	0,06	5
	Total	1,29	100	1,28	100	1,29	100
Inverno	F	0,36	46	0,73	54	0,54	51
	G	0,09	12	0,14	10	0,11	11
	RA	0,20	26	0,34	25	0,27	26
	MR	0,04	5	0,03	2	0,04	3
	C	0,02	2	0,03	2	0,02	2
	M	0,07	8	0,08	6	0,07	7
	Total	0,77	100	1,35	100	1,06	100
Primavera	F	0,47	24	0,79	32	0,63	28
	G	0,24	12	0,30	12	0,27	12
	RA	0,94	48	0,99	40	0,97	43
	MR	0,08	4	0,18	7	0,13	6
	C	0,03	1	0,04	2	0,03	2
	M	0,20	10	0,20	8	0,20	9
	Total	1,96	100	2,49	100	2,23	100
Total geral	F	1,32	25	2,25	32	1,78	29
	G	0,66	12	0,82	12	0,74	12
	RA	2,51	47	2,90	41	2,71	44
	MR	0,31	6	0,46	6	0,38	6
	C	0,10	2	0,13	2	0,11	2
	M	0,45	8	0,52	7	0,48	8
	Total	5,35	100	7,07	100	6,21	100

NOTA: F: folhas; G: ramos e galhos com diâmetro inferior a 2 cm; RA: ramos aciculados de araucária; MR: material reprodutivo; C: casca; M: miscelânea.

FONTE: O autor (2015)